

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní

Institut dopravy

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ostrava 2010

Jiří Majdič

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Odlehčovací brzda nákladního automobilu N2

Retarder of Truck Class N2

Student: Jiří Majdič

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Richtář

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Majdič**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R002 Dopravní technika
Téma: **Odlehčovací brzda nákladního automobilu N2**
Retarder of Truck Class N2

Zásady pro vypracování:

Cílem této práce je zjistit možnosti trvalého brzdění nákladního automobilu kategorie N2 při použití dekompresní brzdy a pro daný automobil navrhnout nejvhodnější variantu..

- 1.Úvod.
- 2.Odlehčovací brzdy.
- 3.Současný stav řešení výfukových brzd
- 4.Výpočet odlehčovací brzdy daného automobilu.
- 5.Porovnání a volba nejvhodnější varianty.
- 6.Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

MACEK, J., SUK, B. Spalovací motory I., 1. vyd. , Praha, Nakladatelství ČVUT, 2003, ISBN 80-01-02085-1.

MACEK, J., KLIMENT, V. Spalovací turbíny, turbodmychadla a ventilátory., 1. vyd. , Praha, Nakladatelství ČVUT, 2006, ISBN 80-01-03529-8.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 21. 5. 2010

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21. 5. 2010

.....
podpis

Jiří Majdič

Pavlov 52, 588 33 Stonařov

Anotace bakalářské práce

Majdič, J. *Odlehčovací brzda nákladního automobilu N2 : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 47 s. Vedoucí práce: Ing. Richtář, M.

Práce se zabývá trvalým brzděním užitkového automobilu kategorie N2 pomocí výfukové motorové brzdy. Je zaměřena na brzdu dekompresního typu s využitím turbodmychadla s variabilním průřezem turbíny. K veškerým matematickým simulacím motoru je používán počítačový program GT POWER. Samotná simulace brzdění a konstrukční část práce je řešena na motoru Avia D 432.

Annotation of Bachelor Thesis

Majdič, J. *Retarder of Truck Class N2 : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 47 p. Thesis head: Ing. Richtář, M.

This thesis is concerned with a permanent braking of an utility vehicle, category N2, by force of exhaust motor brake. It is focused on a decompression brake using a turbo-blower with a variable turbine section. Computer programme GT POWER is used for all mathematical simulations. The particular simulation of braking and the construal part of this thesis is showed at motor Avia D 432.

Obsah

OBSAH	6
1. SEZNAM OZNAČENÍ	8
ÚVOD.....	9
I. OBECNÁ ČÁST	10
2. BEZPEČNOST VOZIDEL	10
2.1. <i>Automobilové brzdy</i>	10
2.1.1. Požadavky na brzdovou soustavu	10
2.1.2. Složení brzdové soustavy'	12
2.1.3. Přímochinné brzdy'	12
2.1.4. Polostrojní brzdy	12
2.1.5. Strojní brzdy	13
2.1.6. Speciální brzdy'	13
Motorová výfuková brzda.....	13
Motorová dekompresní brzda	14
Elektromagnetická brzda	14
Kapalinová (hydrodynamická) brzda	14
Aerodynamické brzdy	15
3. SOUČASNÝ STAV	16
4. VÝFUKOVÁ A DEKOMPRESNÍ BRZDA	16
4.1. <i>Princip výfukové a Jake - brzdy</i>	16
4.1.1. Výfuková brzda	16
4.1.2. Brzda Jake-Brake.....	17
Způsob práce dekompresní brzdy „Jake“	18
4.1.3. Iveco Turbo Brake (ITB)	20
Motor Tector E15	20
4.1.4. Volvo Engine Brake (VEB)	22
Výfuková brzda-EPG	22
Motorová brzda- VEB	22
4.1.5. Brzda Exhaust Valve Brake (EVB)	24
II. PRAKTICKÁ ČÁST	25
5. CÍL PRÁCE.....	25
6. VOLBA SOFTWARE.....	25
7. MOŽNÉ ZPŮSOBY ŘEŠENÍ	26
7.1. <i>Tvorba modelu motoru</i>	27
7.2. <i>Základní model</i>	27
7.3. <i>Základní model s brzdou dekompresního typu</i>	29

8. VÝPOČET A UMÍSTĚNÍ BRZDY	31
8.1. Průběh zdvihu pístu	31
8.2. Výpočet brzdy	32
Varianta 1.	33
Varianta 2.	35
Varianta 3.	36
Varianta 4.	38
Varianta 5.	40
8.3. Výběr optimální varianty	41
8.4. Optimální varianta	43
8.5. Další možnosti zvýšení výkonu	44
ZÁVĚR	46
POUŽITÁ LITERATURA	47

1. Seznam označení

HÚ	Horní úvrať
DÚ	Dolní úvrať
SO	Sací ventil otevřen
SZ	Sací ventil zavřen
VO	Výfukový ventil otevřen
VZ	Výfukový ventil zavřen
KH	Klikový hřídel
VH	Vačkový hřídel
Crank Angle	Otáčení KH [°]
Lift	Zdvih [mm]
COMPR	Komprese
POWER	Expanze
EXHAUST	Výfuk
INTAKE	Sání
TDCF	Horní úvrať
'BDC	Dolní úvrať
V.Ventil	Výfukový ventil
S.Ventil	Sací ventil

Úvod

Základem této bakalářské práce je navrhnout odlehčovací brzdu pro automobily kategorie N2. Má být zaměřena na brzdu dekompresního typu s využitím turbodmychadla s variabilním průřezem turbíny.

Práce je rozložena do dvou hlavních kapitol. V první kapitole, obecné části se seznámíme s principem a složením brzd. Proč je vozidlo vůbec brzdami vybaveno, jaký důraz je kladen na automobilové brzdy a jak je můžeme rozdělit. Soustředit se budeme na zpomalovací brzdy. Seznámíme s principem činnosti výfukové brzdy. Činnost dekompresní brzdy bude vysvětlena na brzdě „Jake“. Dále dojde k nahlédnutí na současný stav, tzn. Ukážeme si jak dekompresní brzdu konstruují světový výrobci automobilů, čím se zabývají, jak je brzda ovládaná.

Druhá polovina práce je zaměřena na praktickou část, kdy si v první fázi nastíníme možné způsoby řešení. Druhá fáze se věnuje seznámení s programem GT – Power, který je základem pro další pokračování. V tomto programu sestavíme model motoru. Vstupní parametry jsou dány zadáním a konstrukčním tvarem motoru AVIA D432. Z programu GT – Power dostaneme několik možných řešení. Na základě konstrukce (rozvody, hlava, blok motoru, vahadla, atd.) motoru D432 a okrajových podmínek (program GT – Power, zdvih pístu, ventilů, atd.) dostaneme neoptimálnější řešení.

Závěr práce je věnován dalším možnostem brzdění. Jaké jsou jiné možnosti zvyšování brzdného výkonu.

I. Obecná část

2. Bezpečnost vozidel

Již dlouhou dobu vzrůstají energetické potřeby člověka. Největší nárůst je přitom patrný především v dopravě, a to zejména v automobilové. Stále větší důraz je kladen na bezpečnost provozu automobilů. Nejedná se přitom pouze o bezpečnost řidiče, ale celého osazenstva vozidla, lidí pohybujících se po pozemních komunikacích, nákladu vozidla a především také o ochranu životního prostředí. K tomuto by měly napomáhat stále se zpřísnující legislativní předpisy.

Pro zajištění bezpečného provozu vozidla se v současné době využívá mnoho prvků. Jako jeden z nejdůležitějších prvků bezpečnosti je všeobecně považován brzdový systém vozidla.

2.1. Automobilové brzdy

Brzdná zařízení se používají k zpomalení vozidla a současně k zajištění jejich nežádoucího rozjetí. Jak již bylo zmíněno, patří k nejdůležitějším ústrojím vozidla, protože významnou měrou rozhodují o bezpečnosti provozu. U motorového vozidla musí brzdová soustava zajišťovat jak brzdění provozní, nouzové (při případném porouchání některé části soustavy) tak i parkovací.

2.1.1. Požadavky na brzdovou soustavu¹

Úkolem brzdové soustavy je, při působení síly řidiče na pedál, vyvinout potřebný brzdící účinek přiměřeně rozdělený na brzděné nápravy tak, aby přenášely brzdnou sílu úměrnou jejich zatížení.

Brzdové soustavy můžeme rozdělit **podle způsobu přenášení síly** řidiče na působící mechanismus brzd. Z tohoto hlediska rozdělujeme brzdy na:

¹ <http://vossost.lit.cz/mj/MOV2.doc>

- *přímočinné* (mechanické, kapalinové);
- *polostrojní* (kapalinové podtlakové, mechanické polostrojní, mechanické podtlakové);
- *strojní* (vzduchové, kapalinové, vzduchokapalinové);
- *zpomalovací* (výfukové, elektromagnetické, aerodynamické, kapalinové).

Podle konstrukce můžeme brzdy rozdělit na:

- *bubnové*
- *kotoučové*.

Bubnové se dále mohou dělit na: *čelistové vnitřní*
 čelistové vnější
 pásové.

Podle místa působení dělíme brzdy na:

- *kolové*
- *převodové*.

Podle způsobu ovládání dělíme brzdy na:

- *ruční*
- *nožní*
- *samočinné* (*působící bez impulsu řidiče*)

Dále můžeme rozdělit brzy dle **použití**:

- | | |
|----------------------|---|
| • <i>provozní</i> | – <i>působí na všechna kola</i> |
| • <i>nouzová</i> | – <i>zpravidla na jednu z náprav</i> |
| • <i>parkovací</i> | – <i>zpravidla na jednu z náprav</i> |
| • <i>zpomalovací</i> | – <i>zpomaluje aniž je užita provozní</i> |

2.1.2. Složení brzdové soustavy^{2, 3}

Brzdová soustava se skládá z ovládacího ústrojí, převodů a vlastních brzd. Ovládacím ústrojím přímočinných brzd je pedál, případně to může být páka brzdy. Brzdy polostrojní mají navíc posilující mechanismus, u strojních brzd je hlavní brzdíč (jednookruhový, dvouokruhový, popř. tříokruhový) brzdový ovládací ventil, regulátor brzdící síly, případně omezovač brzdící síly. K převodům mechanických brzd patří převodové páky brzd, případně převodové hřídele brzd, rozdělovací zařízení (mezi předními a zadními brzdami), brzdová táhla brzdová lana, popř. lanovody. Posledním článkem převodu je páka s klíčem brzdy. Převod kapalinových a vzduchokapalinových brzd tvoří hlavní brzdový válec.

2.1.3. Přímočinné brzdy^{4, 5}

U tohoto druhu brzd závisí velikost brzdící síly přímo a pouze na síle, jakou řidič působí na pedál, popř. na páku brzdové soustavy. Nejjednodušším druhem přímočinných brzd jsou brzdy mechanické, které se dnes uplatňují už jen jako pomocné ruční brzdy, popř. jako brzdy jednostopých vozidel. Pracují s mechanickým pákovým převodem a přenosem pohybu táhly, lany, tyčemi, vzpěrami apod.

2.1.4. Polostrojní brzdy⁶

U polostrojních brzd se působením strojního zařízení zvětšuje velikost síly, jíž řidič přímo působí na ovládací zařízení. Úkolem polostrojních brzd je snížit potřebnou ovládací sílu na pedál brzdy.

Dnes nejrozšířenější je kapalinová podtlaková polostrojní brzda, u níž je zdrojem posilového účinku podtlak v sacím potrubí, který působí prostřednictvím podtlakového posilovače, ústrojí zařazeného mezi pedál brzdy a hlavní brzdový válec. Základem podtlakového posilovače je píst (měch) o velkém průměru, uzavřený v bubnu propojeném přes zpětný ventil se sacím potrubím motoru.

² Vlk, František, Podvozky motorových vozidel / 2. vyd. Brno : František Vlk, 2003. 392 s. : ISBN 80-239-0026-9

³ <http://fs1.vsb.cz/~ric69/Brzdy.pdf>

⁴ Vlk, František, Podvozky motorových vozidel / 2. vyd. Brno : František Vlk, 2003. 392 s. : ISBN 80-239-0026-9

⁵ <http://djpunx.blog.cz/0706/seminarni-prace-automobily-brzdy-1-cast>

⁶ tamtéž

2.1.5. Strojní brzdy⁷

K brzdění osobních i lehkých nákladních automobilů zpravidla stačí svalová síla řidiče, kterou popř. doplní podtlakový nebo výjimečně hydraulický posilovač. U běžných nákladních automobilů, autobusů a zejména u jízdních souprav však tento zdroj energie nestačí, proto mají uvedená vozidla zpravidla strojní brzdu, tj. brzdovou soustavu, jejíž brzdný účinek vyvolává pomocné strojní zařízení. Nejrozšířenější je vzduchová přetlaková brzda.

2.1.6. Speciální brzdy^{8, 9, 10}

Mezi speciální brzdy patří odlehčovací brzdy. Ty odlehčují provozní brzdový systém vozidla, zejména při sjíždění dlouhých táhlých svahů. Uplatňují se u těžkých užitkových vozidel, popř. u autobusů, protože šetří brzdy. Navíc jsou zcela nezávislé na systému provozních brzd. Tyto brzdy musí být pevně spojeny s převodovou soustavou a poháněnou nápravou.

Motorová výfuková brzda



Při použití této brzdy se nejprve přeruší přívod paliva (přestavěním vstřikovacího čerpadla na volnoběžné otáčky nebo na nulovou dodávku paliva např. vzduchovým válcem) a poněkud později se uzavře klapkou (ventilem) výfukové potrubí. Motor začne nasávaný vzduch vytlačovat do uzavřeného výfukového potrubí, takže pracuje jako kompresor. Vznikající protitlak v uzavřeném výfukovém potrubí působí jako brzdící moment motoru.

Obr.1. Klapka ve výfukovém potrubí

<http://bankspower.com>

⁷ <http://djpunx.blog.cz/0706/seminarni-prace-automobily-brzdy-1-cast>

⁸ tamtéž

⁹ Vlk, František, . Podvozky motorových vozidel / 2. vyd. Brno : František Vlk, 2003. 392 s. : ISBN 80-239-0026-9

¹⁰ Voith Turbo GmbH & Co. KG, Cr 230 tsch. 2.93 1000 Printed in Germany

Motorová dekompresní brzda

Pracuje na podobném principu jako výfuková brzda. Využívá odpouštění motorem stlačeného vzduchu při kompresi před koncem zdvihu do otevřeného nebo uzavřeného výfukového potrubí.

Elektromagnetická brzda



Využívá magnetického odporu vířivých Foucaultových proudů. Brzdový kotouč spojený s hnacím ústrojím (brzda se montuje na spořovací hřídel) se otáčí mezi elektromagnety. Při zapojení přívodu proudu do elektromagnetů je otáčení kotouče brzděno vířivými proudy. Tyto proudy působí proti jeho pohybu, takže brzdí. Retardér má velmi dobrou regulaci a velký brzdný účinek. Lze je použít i na nepoháněná kola.

Obr. 2. Elektromagnetická brzda

<http://www.frenelsa.es/en/index.asp>

Kapalinová (hydrodynamická) brzda

Hydrodynamická brzda je tvořena dvěma lopatkovými koly statorem a rotorem. Při brzdění je do pracovního prostoru mezi rotor a stator přiváděn tlakový olej ze zásobníku. Olej v pracovním prostoru je otáčením rotoru urychlován a proudí v uzavřeném okruhu mezi rotorem a statorem. Zpomalování proudu oleje v lopatkách statoru má za následek brzdění otáčení rotoru a tím i brzdění vozidla. Velikost brzdného účinku je možno řídit změnou množství oleje v pracovním prostoru.

Výkon retardéru je určen kapacitou chladicího systému vozidla. Retardér je často součástí převodovky, ale vyžaduje vždy účinné chlazení oleje.



Obr. 3. Voith Turbo TVVS

http://www.voithturbo.com/vt_en_akt_presseinfo_pressimages.php

Aerodynamické brzdy

Podle možnosti a potřeby zvětšují odpor vzduchu proudícího kolem automobilu. U běžných silničních vozidel se v praxi neuplatňují především proto, že jejich účinek je výrazný jen při vyšších rychlostech, tj. asi nad 150 km/h.

3. Současný stav

V současnosti se každý výrobce nákladních automobilů snaží o to, aby umístěvaný agregát ve vozidle vydržel co nejvíce ujetých kilometrů, měl nízké emise, spotřebu a poruchovost, byl nenáročný na údržbu, s přijatelnou hmotností, co možná konstrukčně nejjednodušší a hlavně cenově příznivý. Proto více automobilových výrobců používá jeden motor do různých typů vozidel a značek.

Mezi největší světové výrobce automobilů patří např. tyto společnosti: IVECO, DAF, MAN, MERCEDES, RENAULT, SCANIA, VOLVO. Snahou těchto společností je, aby právě jejich motor byl nejprodávanější a nejvyužívanější. K tomu tito přední výrobci využívají různé komponenty, kterými osazují motor. V dnešní době je to např. turbodmychadlo s variabilním průřezem turbíny, common rail, vylepšené sací a výfukové trakty, vstřikovače, ale také vylepšené motorové brzdy.

4. Výfuková a dekompresní brzda

4.1. Princip výfukové a Jake - brzdy

4.1.1. Výfuková brzda¹¹

Motorová brzda je v podstatě ventil, který je zavřený (ne však totálně uzavřený) a v odsávacím traktu omezuje výfukový tok. Tento ventil se zavře (zavře se také dodávka paliva), když řidič uvolní plynový pedál nebo jiným způsobem aktivuje brzdu, tím pak narůstá protitlak ve výfukovém potrubí, který brzdí vozidlo. V závislosti na otáčkách motoru může tento tlak snadno narůstat a dosahovat i vyšších hodnot než při běžném provozu, nikdy však nesmí dosáhnout maximálního tlaku. Maximální pracovní tlak je omezen tvarem a provedením motorové brzdy.

Uzavřel-li by se výfuk úplně, tlak ve výfukovém potrubí by rostl až do roztržení výfukového traktu nebo poškození motoru. Pokud je tlak ve výfukovém systému z druhé strany (od konce výfukového potrubí až k výfukovým ventilům v hlavě motoru) příliš velký,

¹¹ http://bankspower.com/tech_howexhaustbrakeworks.cfm

zavřené ventily v hlavě motoru se už neudrží na svých místech a dojde k jejich otevření. Výsledkem bývá „potkání pístů s ventily“.



Obr.4. Ovládání klapky ve výfuku

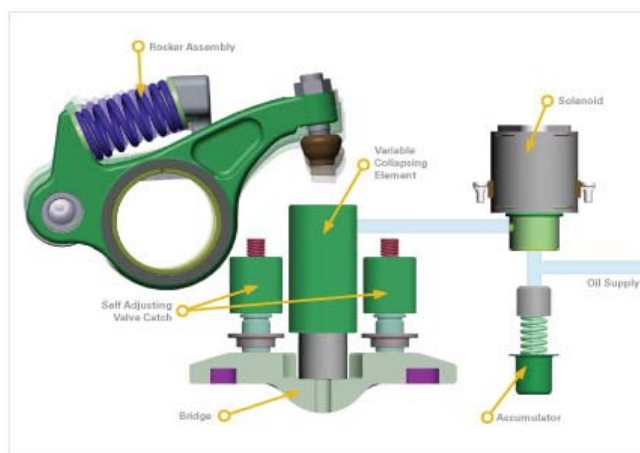
Obr.5. Ovládání klapky ve výfuku

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Turboccharger_assembly.jpg

Výsledkem je, že motorová brzda musí ventilovat nějaký malý výfukový únik plynů z výfukového systému a držet maximální provozní tlak pod bezpečnou hranicí. Maximální tlak ve výfukových potrubích je závislý na sedlech, pružinách a velikosti (oblast talíře ventilu) ventilu. Proto musí být kladen důraz na konstrukční nastavení všech komponentů, které by mohly ovlivnit správný chod brzdy, případně celého motoru.

4.1.2. Brzda Jake-Brake¹²

Na obr.6 se nachází zjednodušené umístění jednotlivých dílů „Jake“ brzdy. Ovládání a konstrukční uspořádání je na obr.7.



Obr.6. Schéma ovládání „Jake“ brzdy

<http://www.jakebrake.com>



Obr.7. Konstrukce ovládání

¹² <http://www.jakebrake.com>

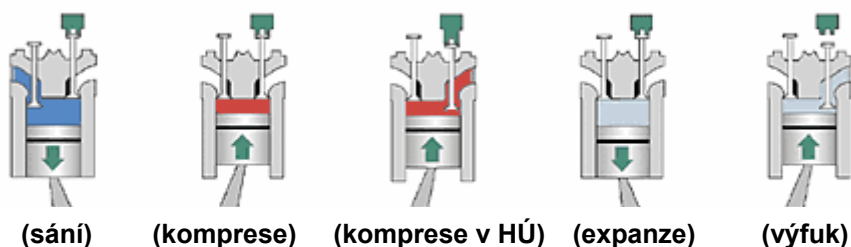
Způsob práce dekompresní brzdy „Jake“

Tato brzda využívá především **odpuštění stlačeného vzduchu při kompresi před koncem zdvihu** do otevřeného nebo uzavřeného výfukového potrubí. Odpuštění se realizuje pootevřením výfukového ventilu (nebo přidavného ventilu) rozdílnou změnou na rozvodovém mechanismu.

Ovládání brzdy je nejčastěji elektronicky. Na přístrojové desce je umístěno tlačítko nebo páka na sepnutí a vypnutí brzdy. Předzdvih ventilu je nejčastěji řešen mechanicko-hydraulickým zařízením, jenž umožňuje podle potřeby řídit otevírání výfukových ventilů v režimu brzdění motorem.

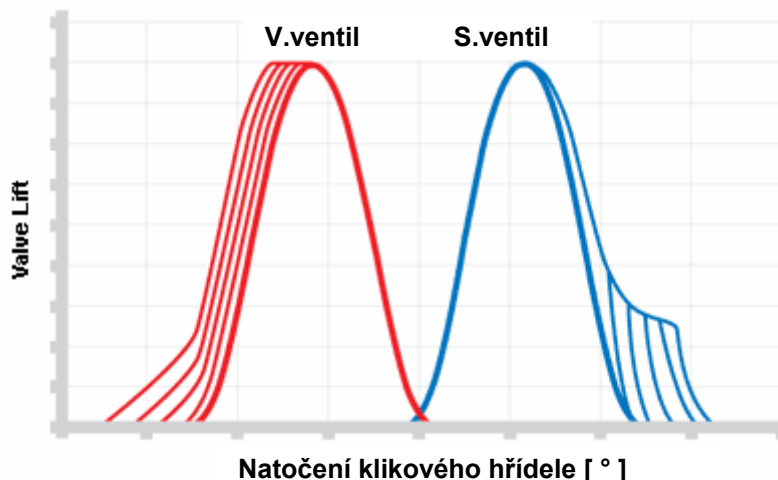
Na obr.8 je znázorněn zjednodušeně **princip dekompresní brzdy**. V první fázi sání dochází po sepnutí brzdy k tomu, že píst směřuje směrem dolů, sací ventil (SO) je otevřen a nasává se vzduch. Výfukový ventil zavřen (VZ). Druhá fáze komprese začíná, když píst směřuje směrem nahoru, oba ventily jsou zavřeny. V třetí fázi, těsně před HÚ dojde k částečnému pootevření výfukového ventilu (tj. způsobeno speciálním nálitkem na výfukové straně vačky) a tím ke snížení tlaku ve válci. Při čtvrté, expanzní fázi je sací i výfukový ventil zavřen. Píst směřuje směrem dolů a v prostoru nad pístem dochází k vytvoření podtlaku. Poslední fáze výfuku je klasické vyprázdnění válce, kdy je otevřen pouze VO do výfukového potrubí.

Samotné brzdění začíná postupným stlačováním vzduchu v druhé fázi přes třetí, kde dojde k částečnému otevření VV a vytvoření podtlaku, jenž brzdí píst směřující dolů. Ke zvýšení účinnosti může být vše doplněno o turbodmychadlo s variabilním průřezem turbíny, jenž zvyšuje protitlak ve výfukovém potrubí a plyny tak nemohou „samovolně“ opustit výfukový trakt.

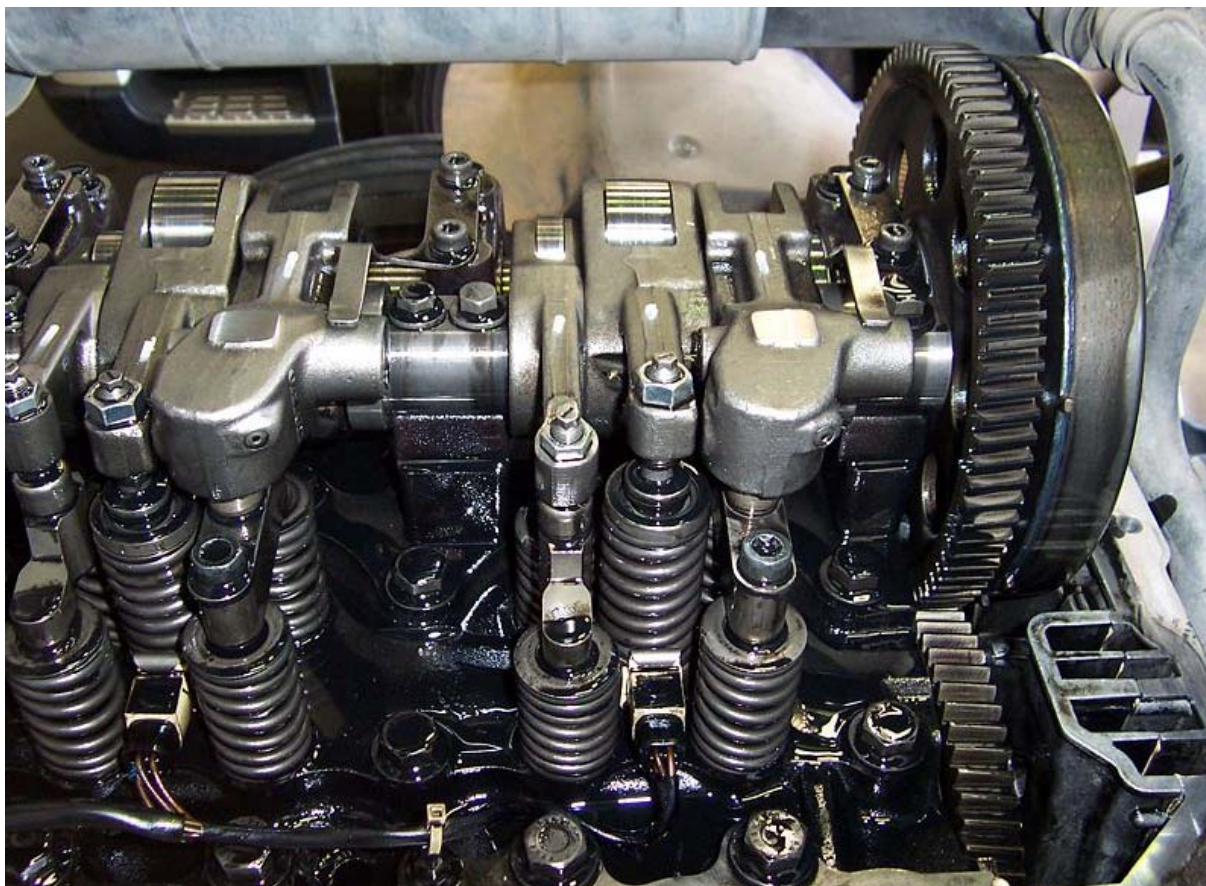


Obr.8. Zdvih pístu
<http://www.jakebrake.com>

Pokud chceme zvýšit brzdný efekt dekompresní brzdou musíme zajistit dostatečné odpuštění výfukových plynů v oblasti HÚ. To znamená posouvat „předzdvih“ co nejblíže k HÚ (červená křivka) a na druhé straně musíme zajistit co možná největší naplnění válce (modrá křivka). Princip je zachycen na obr.č.9.



Obr.9. Průběh zdvihu sacího a výfukového ventilu
<http://www.jakebrake.com>

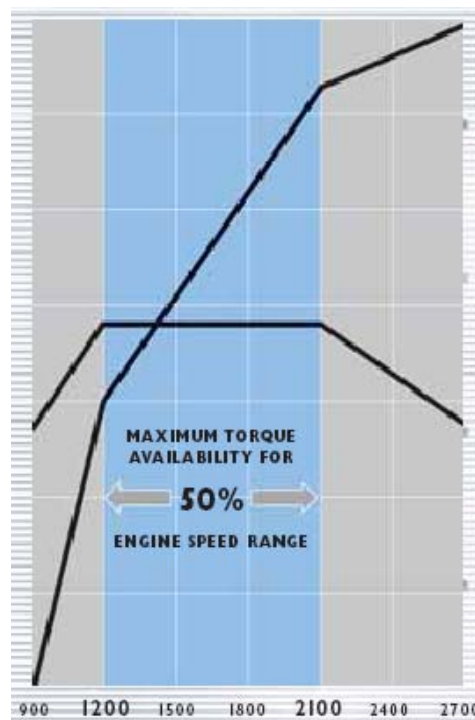


Obr.10 Dekompresní brzda s ventilovým rozvodem OHC
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Unit_injector.jpg

4.1.3. Iveco Turbo Brake (ITB)

Již z názvu je patrné, kde se tato brzda bude využívat. Je montována především do vozu IVECO, které používají motory typu Cursor a Tector. Motory Cursor se používají především pro těžké užitkové automobily. Tector je určen pro lehčí užitkové vozy, tj. pro vozy s nosností 6 až 10 tun.

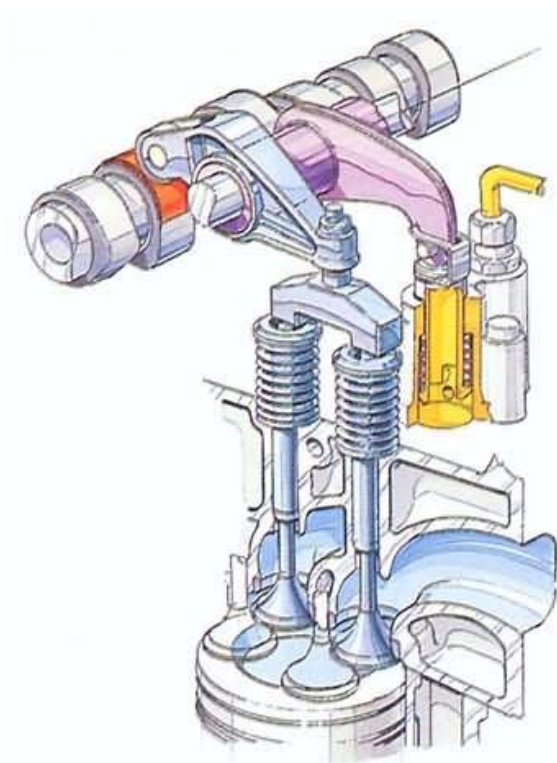
Motor Tector E15¹³



Obr.11. Motor Tector E15
<http://www.ivecomotors.com>

- zdvihový objem 3920cm³
- 4 ventily na válec
- výkon 110 kW při 2700 ot/min.
- točivý moment 490 Nm při 1200 - 2100 min-1

¹³ http://www.conceptassetmanagement.co.uk/pdf/iveco/Eurocargo_Brochure.pdf

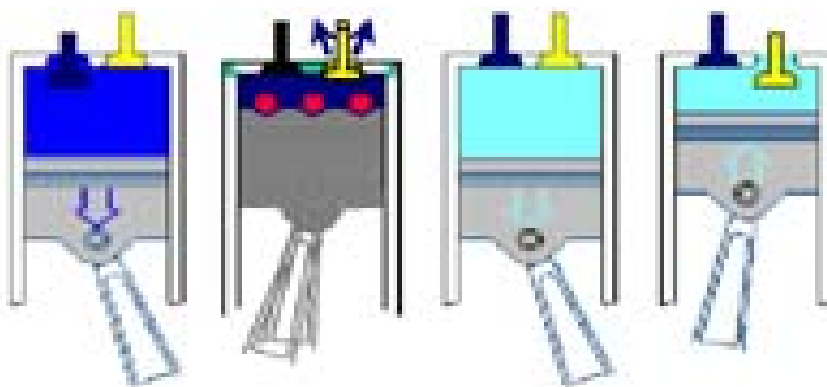


ITB: Iveco Turbo Brake.

Princip brzdy je stejný jako u „Jake“ brzdy, viz obr.č.13. Brzdný efekt vzniká během kompresního cyklu. Stlačený vzduch je uvolněn před horní úvratí částečným otevřením výfukových ventilů. K uvolnění dojde vlivem speciálního nálitku na VH, viz obr.č.12. Tím dosáhneme snížení tlaku ve válci a píst při pohybu dolů nevrací energii. Jde o tzv. Turbo účinek. Účinek motorové brzdy je úměrný množství stlačeného vzduchu. Brzdný efekt dekompresní motorové brzdy v provedení ITB je zvýšen využitím regulace turbodmychadla VGT. Při cyklu sání dodává čerstvý vzduch o vyšším tlaku. Při cyklu výfuku vytváří průtokový odpor ve výfukovém potrubí.

Obr.12.

www.ivecocarda.cz

**Obr.13. Princip práce ITB brzdy**

<http://www.autohelus.cz/motory-iveco-cursor.php>

Tato ITB brzda bývá často kombinována s dalšími brzdami, které se ve vozidle nacházejí. Jsou mezi sebou propojeny přes společný prvek, nejčastěji řídicí jednotku. Ta zajišťuje brzdný efekt s maximální bezpečností. Ve vozidlech Iveco toto zajišťuje systém pod označením EBS (Electronic Braking System).

4.1.4. Volvo Engine Brake (VEB)

Technicky se skládá ze dvou společných částí, komprimační brzdy (VEB) a výfukového regulátoru tlaku (EPG). Toto seskupení zajišťuje klidné a efektivní brzdění v rozsahu otáček, ve kterých se nejčastěji pohybuje.

Výfuková brzda-EPG¹⁴

EPG (Engine Pressure Governor) je to zařízení nainstalované přímo na výfukovou stranu turbodmychadla a skládá se z těla brzdy se škrticí klapkou a pneumatického ovládacího systému, viz.obr.č.14. Výfukový regulátor tlaku (EPG) je aktivován elektro-pneumatickým ventilem modulátoru řízeným řídicí jednotkou motoru.

Toto jednoduché zařízení, ovládané jednopoložkovým přepínačem na přístrojové desce, omezuje pomocí škrticí klapky výstup výfukových plynů z motoru a zvyšuje tak tlak ve spalovacím prostoru. Tím přes klikovou hřídel a převodové ústrojí přenáší brzdný účinek na hnací kola vozidla.



Obr.14. Brzda EPG
<http://www.volvo.com>

Motorová brzda- VEB¹⁵

Volvo Engine Brake, neboli „vebka“, jak se u nás brzda běžně nazývá, využívá brzdného účinku výfukové brzdy EPG, ale svého maximálního výkonu dosahuje především díky jinému časování ventilů motoru.

K tomu, aby mohlo dojít k jinému časování, potřebuje tato brzda mnoho odlišných komponentů oproti běžnému motoru. Především jsou to jiné vačkové hřídele s dvěma extra zdvihátky, viz obr.15a/b na každé výfukové vačce, upravená hydraulická vahadla a jiný

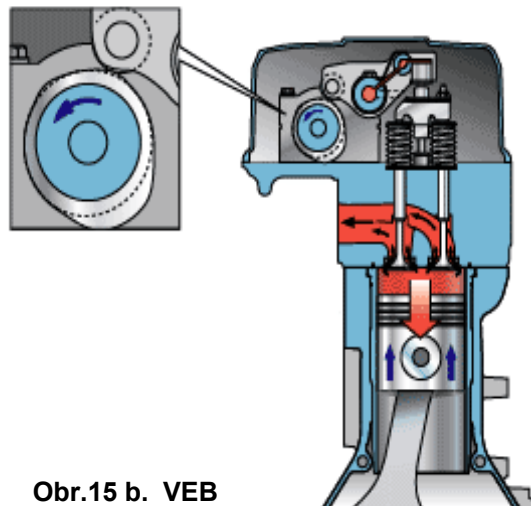
¹⁴ magazín společnosti Volvo Truck Czech, s. r. o.,Globetrotter Czech, ročník 2002, číslo.III.

¹⁵ magazín společnosti Volvo Truck Czech, s. r. o.,Globetrotter Czech, ročník 2002, číslo.III.

software řídicí jednotky motoru. Do vahadel je při zapnutí této brzdy dvoupolohovým přepínačem na přístrojové desce (pol. 1- EPG, pol. 2- VEB) přiváděn přes ovládací ventil olej. S jeho pomocí je vymezena vůle mezi vahadlem a vačkou a vahadlo může být ovládáno ještě dalšími dvěma již zmíněnými extra zdvihátky.

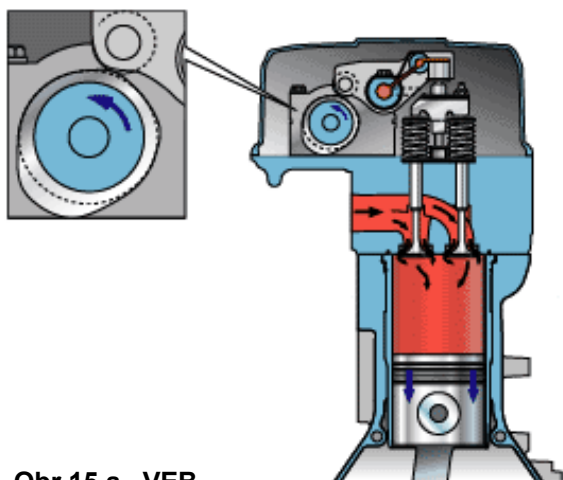
To má za následek celkem tři zdvihy výfukových ventilů místo obvyklého jednoho.

K prvnímu otevření výfukových ventilů dochází v dolní úvratí sání, což umožňuje vstup zpětného tlaku spalin do válce. Tlak ve válci je vlastně to, co skutečně brzdí vozidlo. Těsně před horní úvratí komprese přichází čas pro druhé otevření výfukových ventilů, čímž dochází k prudkému snížení tlaku ve válci a tím



Obr.15 b. VEB

zamezení následnému „nechtěnému“ pracovnímu zdvihu a vzhledem k vysokému tlaku ve spalovacím prostoru případnému poškození motoru. Potřetí jsou výfukové ventily otevřeny při běžném výfukovém zdvihu.



Obr.15 a. VEB

Globetrotter Czech, ročník 2002, číslo.III.

Pro správnou funkci VEB brzdy musí být nejen správně zvoleny otáčky motoru, které se opět nachází v druhé polovině otáčkoměru, ale navíc musí být splněno několik dalších podmínek pro její aktivaci.

Především je to provozní teplota motoru nad 40°C a otáčky motoru nad 1100 ot/min.

4.1.5. Brzda Exhaust Valve Brake (EVB)¹⁶

Tato brzda se používá ve vozidlech značky MAN. Z modelových řad motorů má nejblíže k motoru AVIA D432 motor DO834LFL

- 4 ventily na válec
- zdvihový objem 4580 cm³
- výkon 103kW při 2400 ot/min
- točivým momentem 570 Nm při 1400 min⁻¹



Obr.16. Motor MAN DO834LFL
<http://www.man-mn.com/de/de.jsp>

V něm se ale brzda objevuje jen sporadicky, případně na přání zákazníka. Použití této brzdy je především u vozů kategorie TGA (převážně nákladní automobily nad 7,5t).

V následujícím konstrukčním schématu č.1. je nakreslena **dekompresní brzda EVB** s rozvodem OHV. Zachycuje jak samotnou brzdu tak její ovládání. Princip je stejný jako u „Jake“ brzdy.

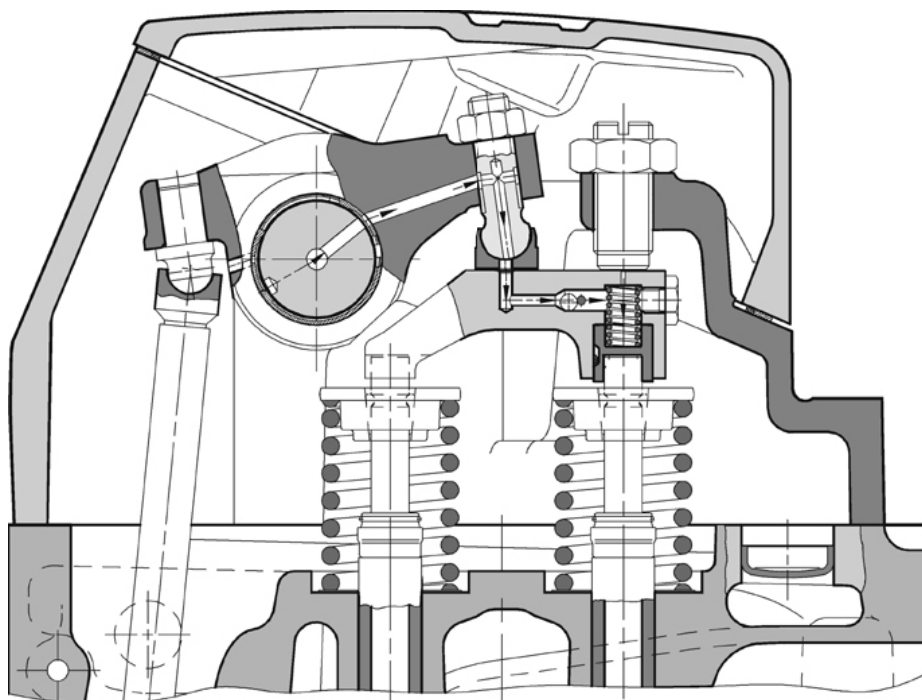


Schéma 1. Ovládání brzdy EVB
<http://www.man-mn.at>

¹⁶ <http://www.man-mn.at>

II. Praktická část

5. Cíl práce

Cílem této práce je zjistit možnosti trvalého brzdění nákladního automobilu kategorie N2 při použití dekompresní brzdy. Vše by mělo být doplněno turbodmychadlem s variabilním průřezem turbíny. Spojením těchto dvou komponentů dojde ke zvýraznění brzdného účinku.

Správný výběr dekompresní brzdy je velice obtížný. Brzda je totiž posuzována z konstrukčního, výkonnostního a funkčního hlediska. Tyto hlediska musí vyhovovat zástavbě do motoru Avia D 432. Jde o vznětový čtyřdobý přeplňovaný motor s přímým vstřikem o objemu 3,9 L se 4 válci a rozvodem OHV. Vrtání/zdvih je 102/120mm s max. výkonem 100 kW/2400 min⁻¹ a max. točivým momentem 580 Nm/1220 min⁻¹. K výběru dekompresní brzdy nám velmi pomůže dobře zvolený výpočtový software.

6. Volba softwaru¹⁷

Výběr brzdy je hodnocen na základě matematických simulací. Srovnávací kritéria budou především brzdné momenty a výkony.

Jelikož nejde o běžný režim motoru je potřeba nalézt způsob, podle kterého bude možné provést matematickou simulaci brzdění motorem. Pro simulaci spalovacích motorů se často používá program od společnosti Gamma Technologies, Inc. s názvem **GT-SUITE**. Jde o soubor několika programů, které jsou určeny pro matematickou simulaci dějů souvisejících se spalovacími motory.

¹⁷ Gamma Technologies, Inc.: GT-Power User's Manual – GT-SUITE™, Version 6.1 August 2004

Součásti GT-SUITE jsou :

- GT Power – simulace motorů
- GT Drive – simulace hnacích ústrojí a vozidel
- GT Cool – chlazení motorů
- GT Fuel – systémy vstřikování paliva
- GT Crank – dynamické analýzy, dynamika klikových hřídelů
- GT Vtrain – kinematika ventilů, návrh vaček

V tomto případě byl zvolen **program GT-POWER**, jenž umožňuje nahradit děje odehrávající se v motoru zjednodušenými fyzikálními modely, které poté zapisuje do rovnic a nalézá jejich řešení.

Způsob vytvoření modelu spočívá ve spojování objektů (sací potrubí, válec, výfukové potrubí atd). Do modelu jsou vkládány různé součásti, které mají přiřazeny odpovídající vlastnosti a jsou spolu propojeny. Jednotlivé součásti lze nalézt v knihovně. Ta obsahuje části spalovacího motoru ale také prvky určené k analýze a regulaci.

K zobrazení výsledků slouží **GT Post**. V něm máme možnost vidět závislosti různých parametrů, případně můžeme data přímo exportovat do dalších programů. Přesnost výpočtu je velkou měrou ovlivněna vstupními parametry. V tomto případě byla vstupní data získána z měření v laboratořích ČVUT.

Model musí zároveň splňovat konstrukční kritéria motoru D 432. Jedná se především o zachování poměru zdvih vrtání, dále pak blok motoru, konstrukční a zastavovací rozměry do podvozku automobilu. S realizací této brzdy dojde ke změně rozvodového mechanismu, vahadel, vačkového hřídele, hlavy motoru, víka motoru, částečně se změní mazání těchto částí, přibude ovládací mechanismus brzdy, rozšíří se software řídicí jednotky motoru.

7. Možné způsoby řešení

Můžeme se pokusit vzít každou z těchto dekompresních brzd a snažit se jí „napasovat“ do motoru D432 s ohledem na všechny ohraničující parametry. Zde však použijeme vždy jen určité komponenty brzdy a ty přiřadíme do modelu brzdy, kterou budeme chtít umístit v hlavě motoru vozidla. Ke správnému rozhodnutí by nám měl pomoci program GT- Power. V něm budou tyto modely postupně upravovány do reálné podoby a následně vyhodnocovány s cílem dostat nejpříznivější řešení.

7.1. Tvorba modelu motoru

Model motoru byl realizován za pomoci několika faktorů.

Prvním krokem k realizaci modelu bylo „oměření“ základních částí motoru v laboratořích ČVUT. Zde se totiž nachází motor AVIE D 432. Šlo především o změření průměrů sacích a výfukových potrubí, jejich délky, škrťací místa, umístění interkoleru, rozměry bloku motoru, hlavy motoru, počet válců, ventilů, vstřikovačů dále pak vrtání, zdvih.

Druhý krok se týkal požadavku na Ing. Jiřího Vávru, Ph.D., aby poskytl již naměřená data z tohoto motoru. Jednalo se o data typu velikost točivého momentu, měrné spotřeby paliva, výkonu, teploty, tlaky atd. Tyto data sloužila ke „sladění“ modelu se skutečným reálným motorem. V posledním kroku bylo využito již existujícího modelu: **nové_turbo_WGT2_new_turbines.gtm** od pana prof. Ing. Jana Macka, DrSc., který se tímto motorem zabýval dříve. Byly použity data jako průběh zdvihu sacího a výfukového ventilu, omezující tlaky, teploty, Víbeho funkce hoření atd. Na základě těchto podkladů se mohl začít modelovat daný motor.

7.2. Základní model

Základem bylo namodelovat tento typ motoru: vznětový, čtyřdobý, řadový, s rozvodem OHV, s přímým vstřikem, přeplňovaný turbodmychadlem, s chladičem plnicího vzduchu, chlazený kapalinou a parametry uvedenými v tabulce 1.

<i>Motor D 432.100</i>	
Zdvihový objem motoru	3,922 dm ³
Počet válců	4
Uspořádání válců	řadové
Počet ventilů na jeden válec	4
Vrtání	102 mm
Zdvih	120 mm
Kompresní poměr	17,5
Maximální výkon	100 kW / 2400 min ⁻¹
Maximální točivý moment	580 Nm / 1220 min ⁻¹

Tabulka 1. - Parametry motoru

Schéma modelu sestaveného v GT – Poweru a jeho popis je uveden na schématu č.2.

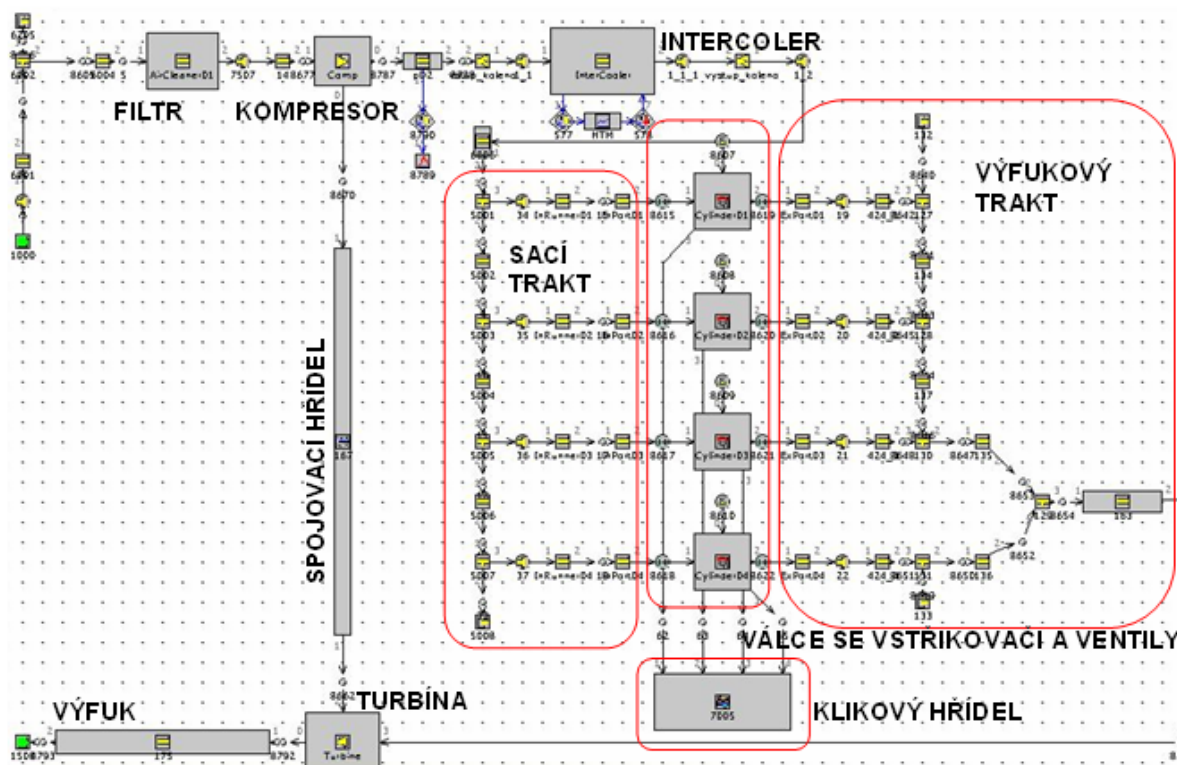
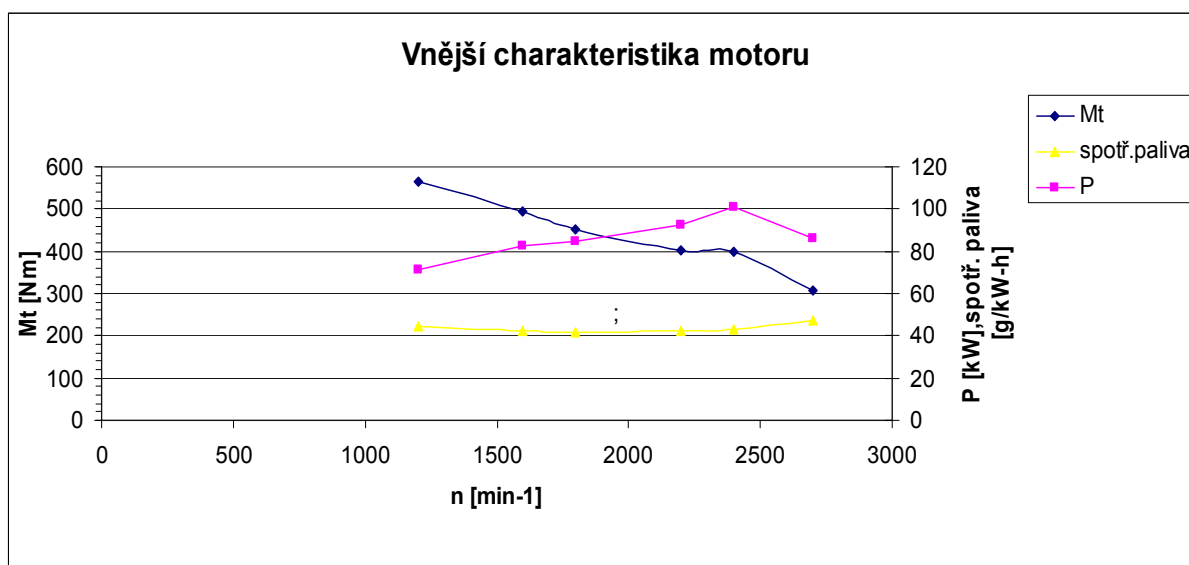


Schéma 2. – Model motoru

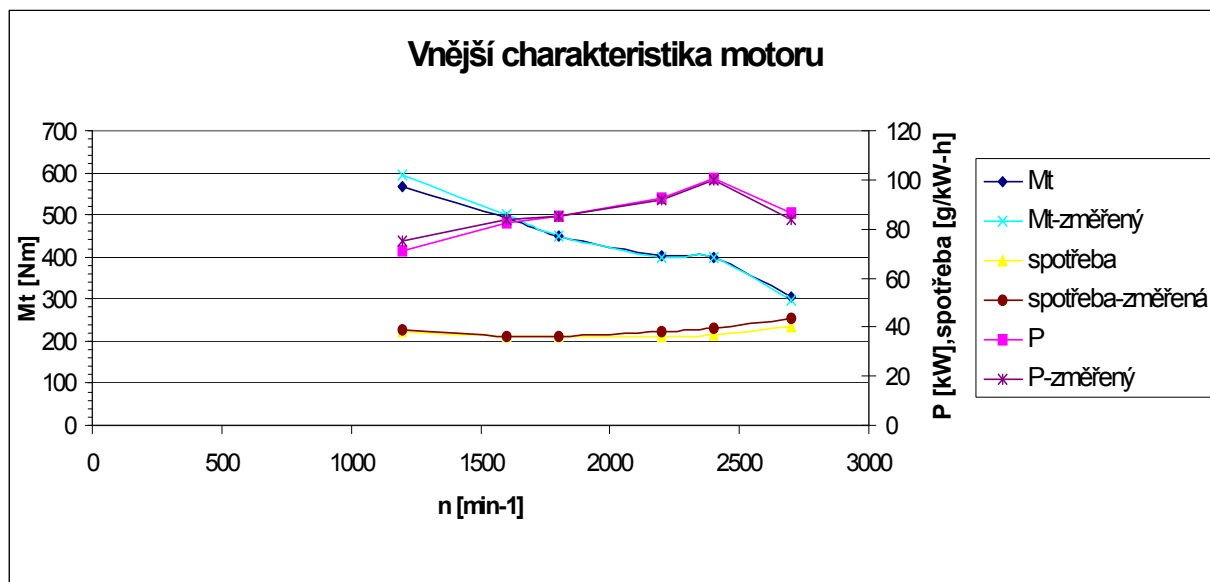
V následujícím grafu č.1 jsou zobrazeny vnější charakteristiky získané simulací v programu GT- Power. Tyto hodnoty jsou získané z GT – Poweru a po menší úpravě v MS – Excel je z nich vytvořen graf charakteristiky motoru.



Graf 1. – Charakteristika motoru

Aby se tyto hodnoty nechaly bezpečně používat i v následujících výpočtech je potřeba provést „sladění“ motoru modelového s motorem reálným. V tomto případě dojde

k porovnání dat, které byly naměřeny v laboratoři na ČVUT od pana Ing. Jiřího Vávry, Ph.D. s daty z programu GT – Power. „Sladění“ lze provést více způsoby, např. korekcí teploty, plnicího tlaku, množstvím vstřikovaného paliva, množstvím nasávaného vzduchu atd. Veškeré korigované parametry vycházeli ze změřených hodnot z laboratoře ČVUT.



Graf 2. - Porovnání dat s GT -Poweru s reálným motorem.

Z grafu č.2 lze vyčíst, že všechny tři křivky jsou takřka totožné s naměřenými hodnotami reálného motoru. Drobné odchylky na začátcích a na koncích křivek jsou způsobeny ne příliš dobrou korekcí vstupních dat. I přesto v tomto není problém, protože data, se kterými se bude pracovat, se nenachází na koncích křivek ale v rozmezí 1500 min-1 až 2500 min-1. V tomto rozpětí jsou křivky shodné a brzda zde má největší brzdný výkon.

7.3. Základní model s brzdou dekompresního typu

Jako model je použit motor D 432 s kombinací VEB brzdy od společnosti MAN a doplněn poznatky z „Jake“ brzdy.

Tento model motoru je upraven v následujících parametrech. Výfukové ventily mají změněné časování, jde o přidání „předzdvihu“ v horní úvratí. Vačkový hřídel bude opatřen přidavnými vačkami na výfukové vačce, které způsobí daný „předzdvih“. Vahadla motoru jsou doplněna o hydraulický pístek jenž vymezuje velikost vůle.

Konstrukčně se změní hlava a víko motoru. Jde především o změny uchycení ovládání brzdy, z „venku“ vypadá hlava a víko motoru stejně. Zároveň dojde k částečné změně mazacího systému. Turbodmychadlo s variabilním průřezem turbíny se v době brzdění uzavírá a tím zvětšuje protitlak ve výfukovém potrubí. Tyto režimy brzdění jsou zaneseny v řídicí jednotce automobilu, která po spuštění brzdy (pákou pod volantem) zvolí vhodný režim.

V následujícím schématu č.3. je model osazen již zmiňovanou dekompresní brzdou. Po dokončení modelace konstrukční části a systému ovládání brzdy tento model spustíme. Dostaneme výstupní hodnoty, jako brzdný výkon, moment, zdvihové křivky pístu, atd, které se porovnají a vybere se vyhovující řešení.

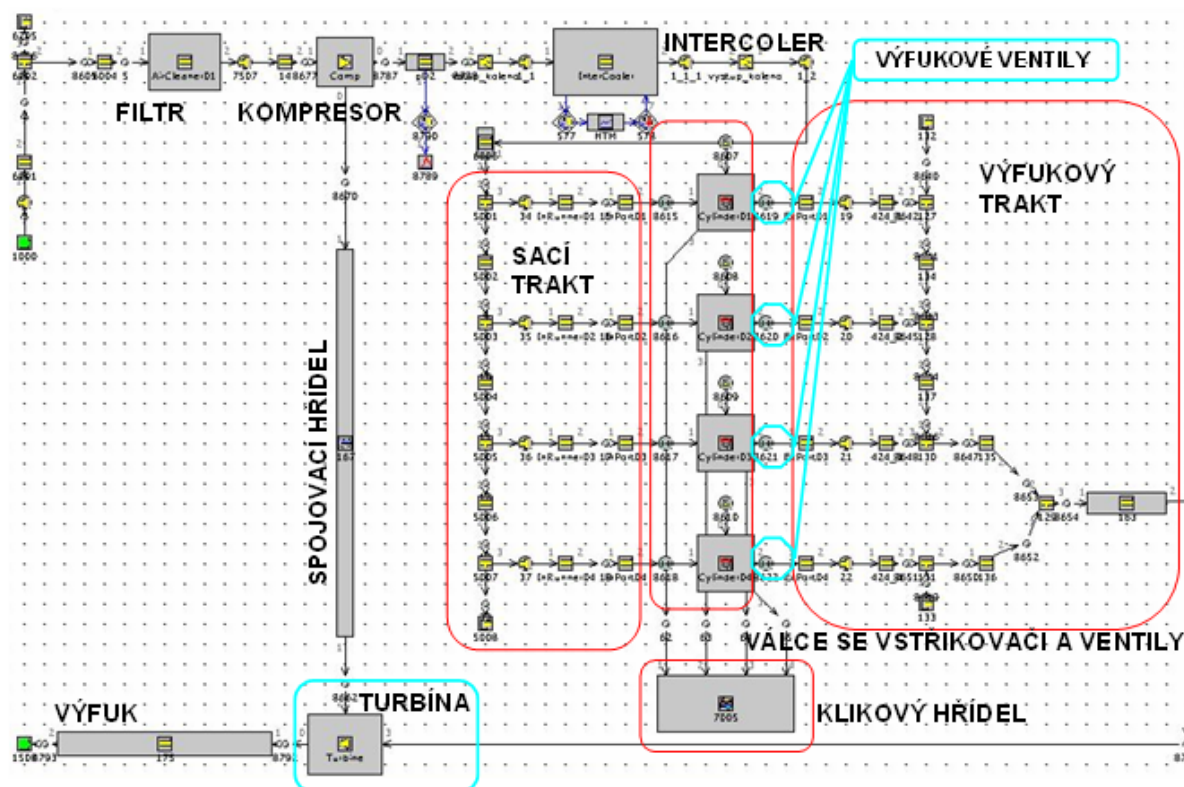


Schéma 3. – Model s dekompresní brzdou

8. Výpočet a umístění brzdy

K řešení brzdy využijeme již zmíněné údaje. Jde především o kombinaci „Jake“ brzdy s dekompresní brzdou VEB. Z modelu motoru získáme hodnoty, které nám pomohou určit optimální řešení.

Při konstrukci dekompresní brzdy je potřeba vzít v potaz hned několik faktorů, které by mohly ovlivnit funkci brzdy.

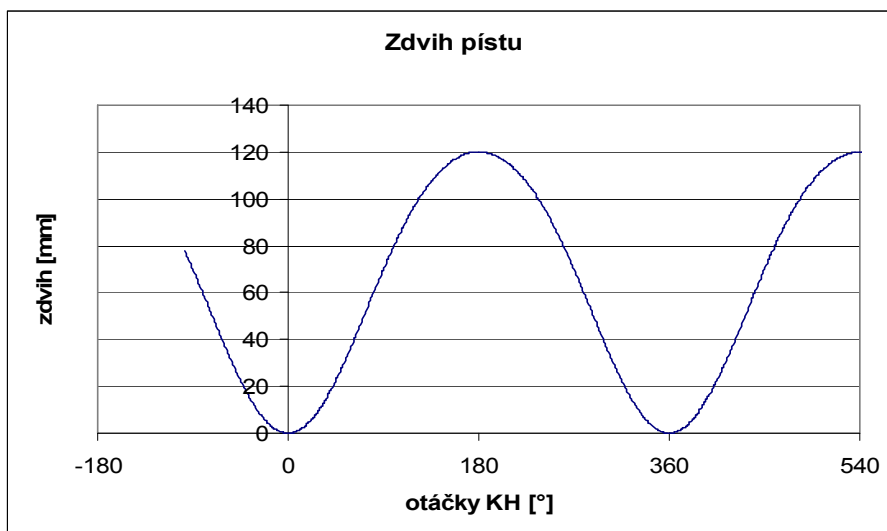
V první řadě jde o to, aby brzda byla co nejúčinnější a nijak nepoškodila správnou funkci motoru. Proto je potřeba vymezit všechna rizika při použití této brzdy. Nejnebezpečnější je částečné pootevření výfukového ventilu. Ten se totiž musí otevřít těsně před nebo za HÚ v momentě, kdy motor komprimuje. Proč právě v tento okamžik? Píst jde nahoru, stlačuje nasátý vzduch a tato komprese pak motor brzdí. Čím větší bude tlak ve válci, tím větší bude brzdný výkon.

Správná volba otevření před a nebo za HÚ je velice náročná. V této práci jsou zobrazeny jen některé vypočítané údaje z modelu. Model je totiž schopen v případě změny některého vstupního parametru celou úlohu přepočítat a zobrazit znovu.

K částečnému otevření výfukového ventilu v okolí HÚ musí dojít, ventil nemůže zůstat zavřený. Pootevření výfukového ventilu před nebo za HÚ způsobí to, že motor nepracuje na principu tlakové pružiny. Proto když jde píst dolů tak nedochází k tomu, že by na něj z vrchu tlačil komprimovaný vzduch. Ke správnému otevření výfukového ventilu musíme znát průběh zdvihu pístu v závislosti na úhlu natočení klikové hřídele.

8.1. Průběh zdvihu pístu

Tento průběh bude sloužit k tomu, abychom bezpečně určili o kolik se maximálně může „přitevřít“ výfukový ventil, aby nedošlo ke kolizi. Píst jde nahoru a do tohoto pohybu se začíná otevírat výfukový ventil. Maximální otevření ventilu musí být menší než vůle mezi pístem a hlavou válce, tím se zaručí bezpečný provoz dekompresní brzdy. K vykreslení závislosti zdvihu na úhlu natočení kliky využijeme program GT – Power, GT – Post.



Graf 3. – Průběh zdvihu pístu

Nyní máme zkonstruovanou zdvihovou křivku pístu, jež se nesmí nikde protínat nebo křížit se zdvihovými křivkami výfukových ventilů, jinak hrozí kolize. Tzn. „potkání pístu s ventilem“.

8.2. Výpočet brzdy

V této části bakalářské práce dojde k vyhodnocení optimálního řešení. Bude zvolena konkrétní podoba dekompresní brzdy, její ovládání a dosažené parametry (výkon, brzdný moment). V modelu brzdy jsou zaneseny veškeré doposud získané údaje. Program GT – Power vypočte **hodnoty motoru v režimu zapnutí dekompresní brzdy** a vyhodnotí je (graf, tabulka). Pro vyhodnocení nejúčinnější brzdy stačí z programových výsledků hodnotit brzdný výkon a moment. To jsou totiž dva nejvýznamnější parametry. Vše je v závislosti na otáčkách motoru, případně na otáčkách klikového hřídele. Tímto způsobem vyhodnocování získáme spousty dat a možností jak brzdou zkonstruovat. V podstatě jsou si ale tyto různé varianty hodně podobné. Liší se jen v detailech. Proto si položíme otázku, kterou z těchto variant vybrat a považovat ji za vyhovující. Základem všeho je uvědomit si, v jakých místech má brzda nejvyšší účinek.

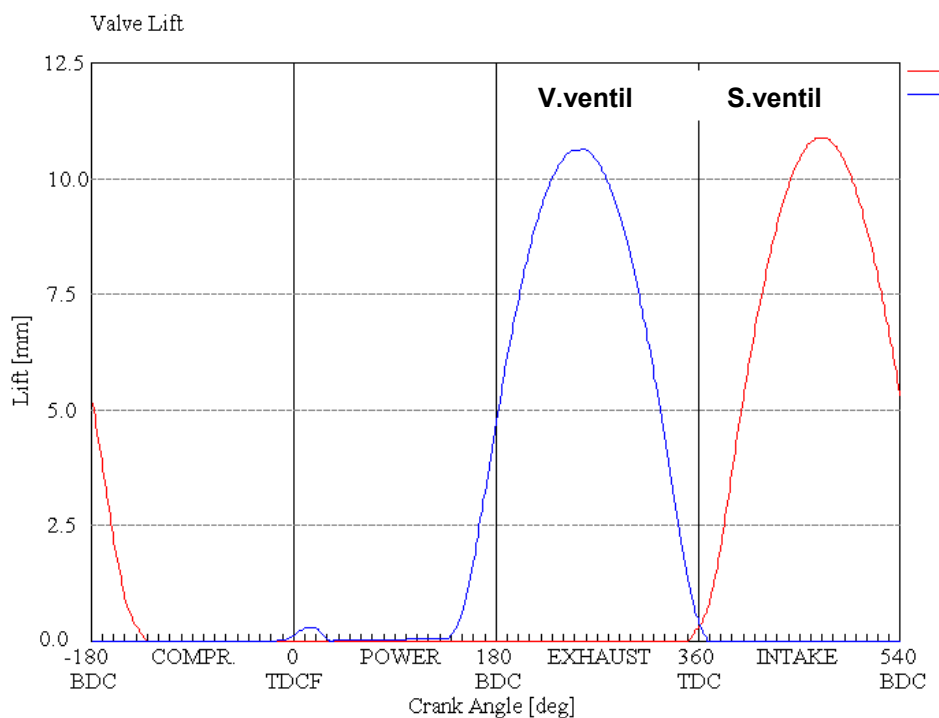
Z principu dekompresní brzdy vyplývá, že **největší účinek má při pootevření výfukového ventilu v HÚ**. Proto nemá význam uvažovat o tom, že bychom výfukový ventil otevírali v DÚ nebo v kterémkoliv jiném místě než v oblasti HÚ. Soustředíme se tedy na místo kolem HÚ. Zda otevřít výfukový ventil před HÚ nebo až za HÚ. V jakém místě začít

výfukový ventil otevírat? Nejlepší by bylo přímo v HÚ, což je ale z konstrukčního hlediska nereálné. Mohlo by totiž dojít ke kolizi pístu s ventilem. Proto potřebujeme znát průběh zdvihu pístu viz graf 3. Jelikož tento průběh známe, tak víme o kolik potřebujeme „předzdvih“ výfukového ventilu posunout.

Posunutí je také ovlivněno délkou otevření ventilu a zdvihem ventilu. **Snahou je, aby se ventil otevřel postupně, setrval otevřený a v poslední fázi se co nejrychleji zavřel**, aby došlo k největšímu odpuštění stlačeného vzduchu a motor nepracoval jako tlaková pružina. Řešení máme ohraničeno tedy těmito podmínkami.

Maximální zdvih výfukového ventilu musí být menší než ventilová vůle. **Ventilová vůle motoru AV IA D432 je 0,3 – 0,35 mm.** Proto po změření ventilové vůle na skutečném motoru (pohybovala se mezi těmito dvěma hranicemi) s ohledem na tepelné dilatace byla pomocí aritmetického průměru stanovena ventilová vůle na hodnotu 0,33 mm. Maximální zdvih výfukové vačky byl po odborné konzultaci s Ing. Branko Remkem, CSc a po započtení stupně bezpečnosti stanoven na **0,28 mm**. Po dosazení výše uvedených hodnot a podmínek do programu GT – Power dostaneme pět variant, z nichž se vyhodnotí ta neoptimálnější.

Varianta 1.

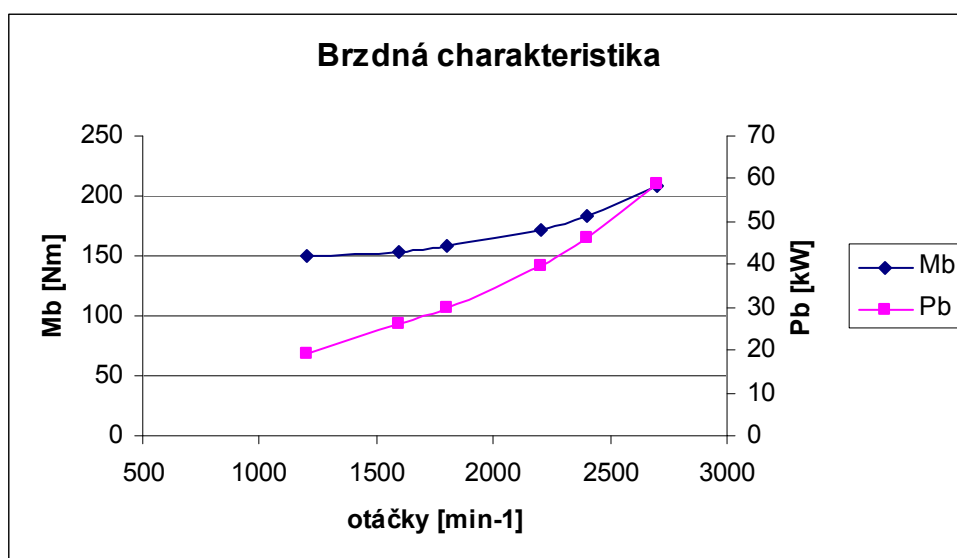


Graf 4 – Zdvih ventilů

Hranice, kdy otevřít a nebo zavřít výfukový ventil, zajišťuje průběh zdvihu pístu. Délku otevření ventilu určuje následující podmínka: odpustit co největší množství vzduchu při daném zdvihu v co největší blízkosti HÚ. Tuto vlastnost ovlivňuje tvar vačky a to tím, že máme omezenou náběhovou i doběhovou stranu vačky. Celá vačka je zanesena v programu GT – Power. V grafu č.4. jsou znázorněny zdvihy ventilů, brzdňá charakteristika se nachází v grafu č.5 a v tabulce č.2 jsou zaznamenány brzdňé výkony a momenty získané z programu GT – Power.

obr.čotáčky motoru[min-1]	1200	1600	1800	2200	2400	2700
brzdňý moment Mb[Nm]	150.5	153	159	171	184	208
brzdňý výkon Pb[kW]	19	26	30	39.5	46	59

Tabulka 2.

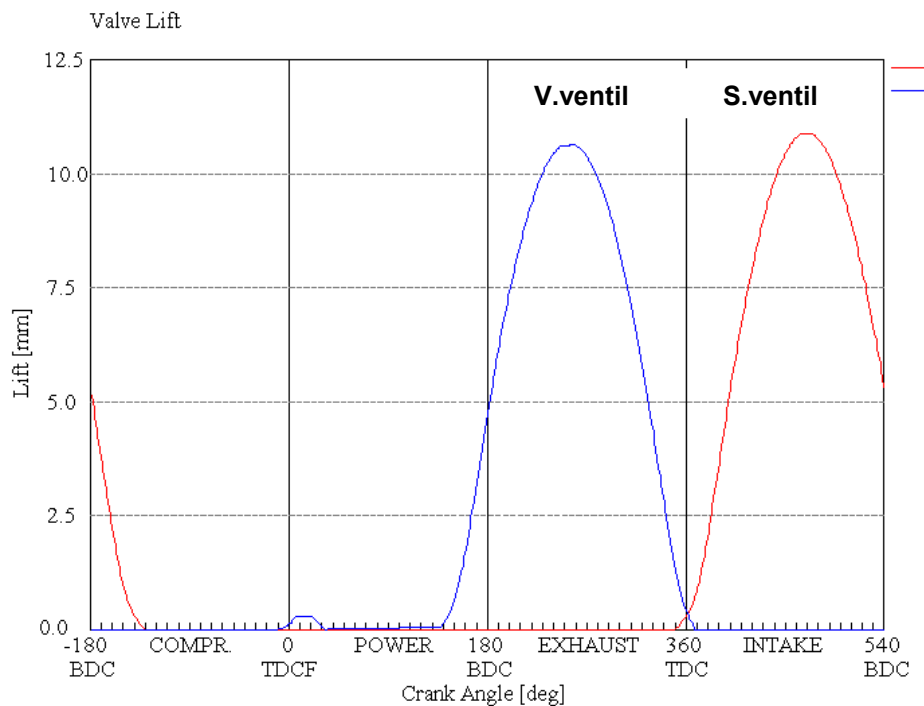


Graf 5. – Brzdňá charakteristika

Ve variantě č.1 je vidět, že výfukový ventil otvírá v poloze „těsně“ před HÚ. V místě HÚ je ventil otevřen o 0,12 mm. Vačka má pozvolný náběh, protože v blízkosti HÚ se stále nachází píst a prudkým náběhem by mohlo dojít ke kolizi. Poté zůstává ventil otevřen o 0,28 mm. Zde je využito pozvolného uzavření ventilu. **Maximální brzdňý výkon v tomto případě činí 59 kW, brzdňý moment je 208 Nm.**

Varianta 2.

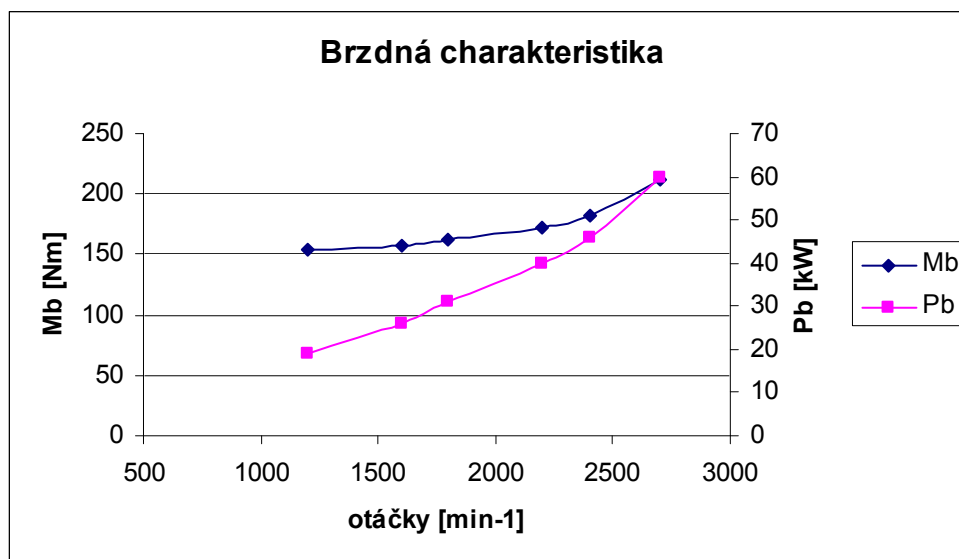
Varianta č. 2 má zdvihovou křivku ventilů v grafu č.6. a brzdou charakteristiku v grafu č.7. doplněnou o tabulku hodnot č.3.



Graf 6. – Zdvih ventilů

otáčky motoru[min^{-1}]	1200	1600	1800	2200	2400	2700
brzdný moment M_b [Nm]	153.5	156.5	163	173	182	212.5
brzdý výkon P_b [kW]	19	26	31	40	46	60

Tabulka 3.

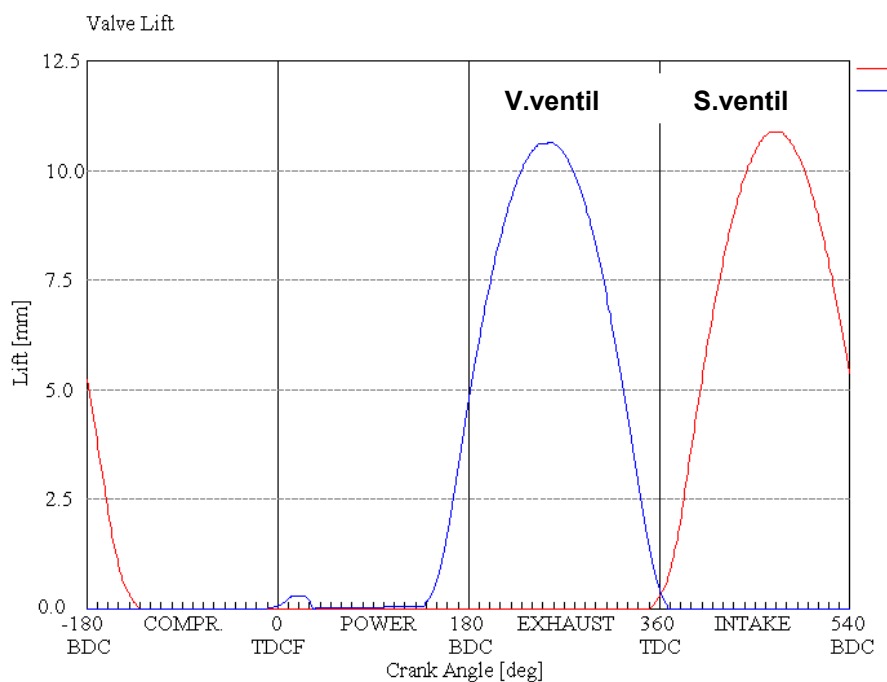


Graf 7. – Brzdná charakteristika

V této variantě otevírá výfukový ventil též „těsně“ před HÚ. V místě HÚ dosahuje hodnoty 0,1 mm. Maximální zdvih je 0,28 mm. I zde je využito pozvolného klesání, je ale zkrácena doba otevření ventilu. **Brzdný výkon má hodnotu 60 kW, brzdný moment 212.5 Nm.**

Varianta 3.

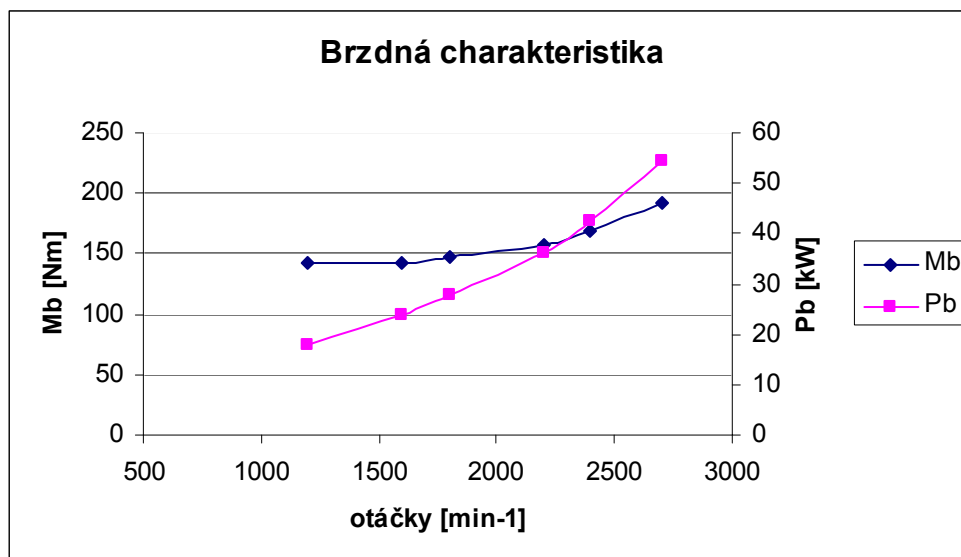
V grafu č.8 na níž je brzdná charakteristika a zdvihové křivce ventilů graf č.9. spolu s tabulkou č.4. je zachycena varianta 3.



Graf 9. – Zdvih ventilů

otáčky motoru[min-1]	1200	1600	1800	2200	2400	2700
brzdný moment Mb[Nm]	142	142	147	157	169	192
brzdný výkon Pb[kW]	18	24	28	36	42.5	54.5

Tabulka 4.

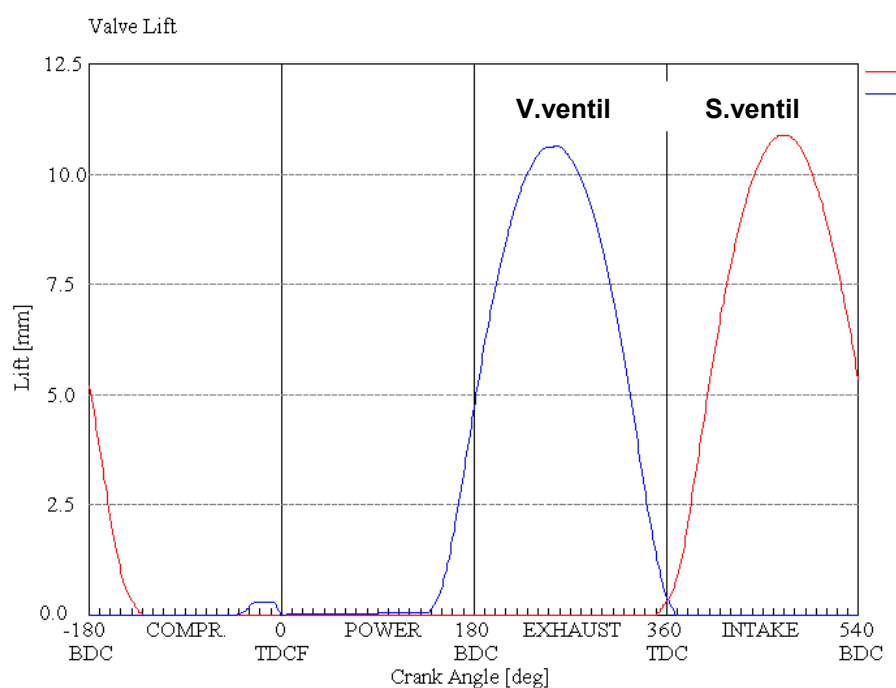


Graf 2. – Brzdná charakteristika

Výfukový ventil otevírá v oblasti HÚ. V HÚ dosahuje zdvih 0,055 mm. Pozvolným náběhem otevíráme ventil. Toto otevírání je kvůli pístu, který začíná opouštět HÚ. Rychlým uzavřením zamezíme zpětnému nasávání z výfukového traktu a vytvořený podtlak nad pístem vytváří odpor, který přes převodový mechanismus brzdí vozidlo. Z tabulky č.6. a grafu č.10. lze vyčíst maximální brzdňý moment a výkon. Zde je největšího brzdňého výkonu dosaženo v nejvyšších otáčkách, 2700 min-1, s tím že maximální brzdňý výkon je **54,5 kW a moment 192 Nm**. Zdvih výfukového ventilu je 0,28 mm.

Varianta 4.

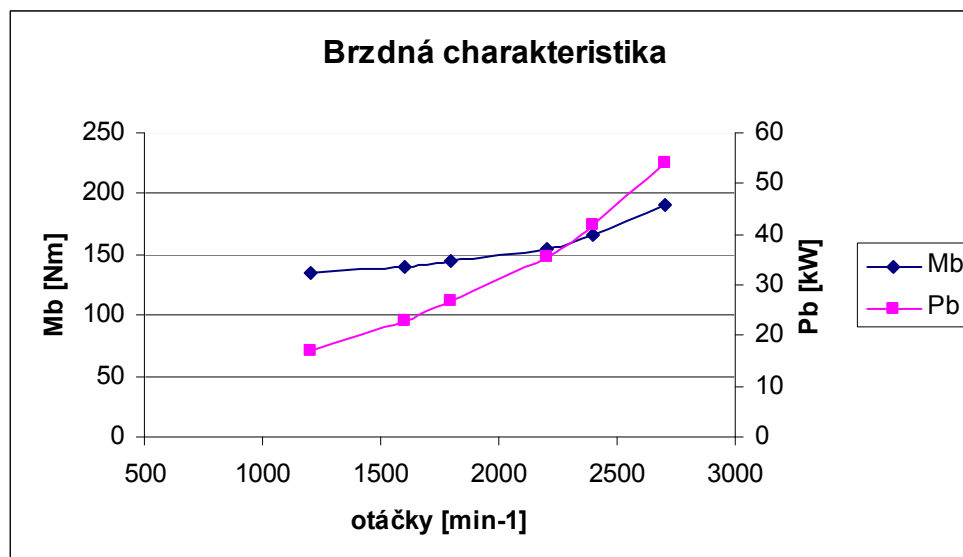
Varianta č.4. je zobrazena v grafu č.10 spolu s grafem č.11. a tabulkou č.5.



Graf 10. – Zdvih ventilů

otáčky motoru[min-1]	1200	1600	1800	2200	2400	2700
brzdňý moment Mb[Nm]	135	139	144	154	166.5	191
brzdňý výkon Pb[kW]	17	23	27	35.5	42	54

Tabulka 5.

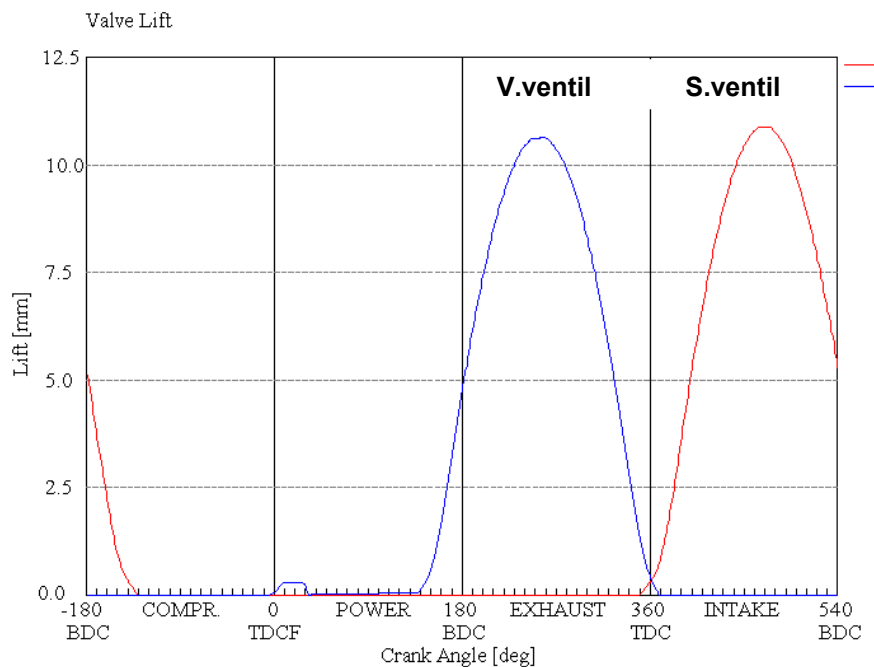


Graf 11. – Brzdná charakteristika

V této variantě otevírá výfukový ventil před HÚ. V HÚ dosahuje zdvih ventilu hodnoty nula. Správný okamžik pozvolného otevírání výfukového ventilu a setrvání v otevřeném stavu o 0,28 mm vychází hodně z varianty č.1. Tato úprava proběhla proto, že dlouhé otevření výfukového ventilu při kompresi není efektivní. V prostoru válce by totiž nevznikl potřebný tlakový odpor a motor by neměl snahu brzdit. **Maximální brzdný výkon u této varianty je 54 kW , brzdný moment dosahuje hodnoty 191 Nm.**

Varianta 5.

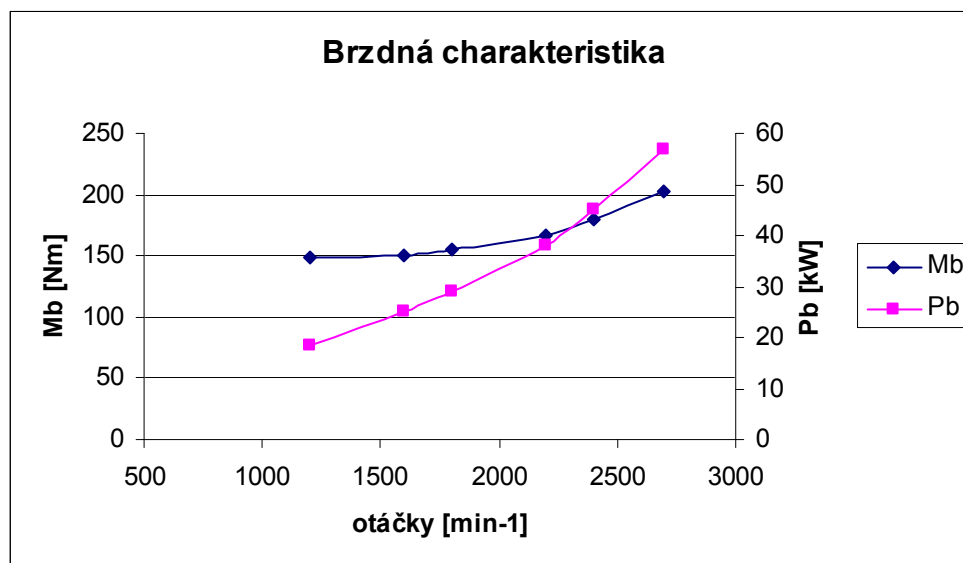
Varianta č.5 zobrazená v grafu č.12 a grafu č.13 spolu s tabulkou č.6 vypadají následovně.



Graf 12. – Zdvih ventilů

otáčky motoru[min-1]	1200	1600	1800	2200	2400	2700
brzdný moment Mb[Nm]	148	150	155.5	166	179	203
brzdný výkon Pb[kW]	18.5	25	29	38	45	57

Tabulka 6.

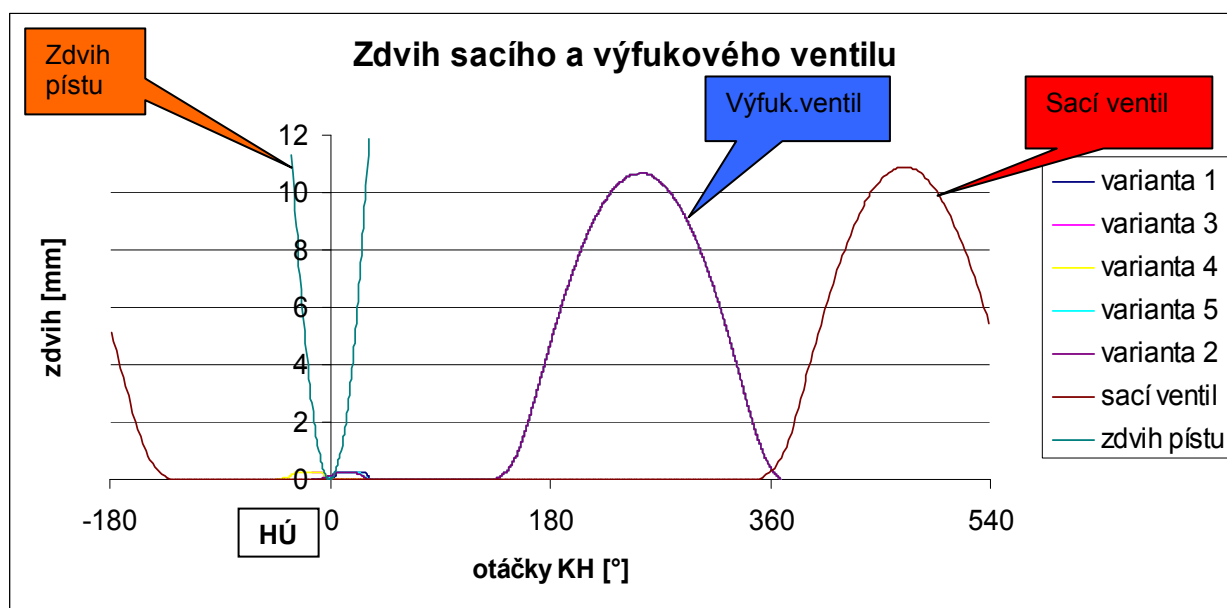


Graf 13. – Brzdná charakteristika

Výfukový ventil se začíná otevírat v HÚ, ale přímo v HÚ je zdvih roven nule. Otevírání je pozvolné, kvůli zdvihové křivce pístu. Píst totiž opouští prostor HÚ. Maximální zdvih u této varianty je 0,28 mm. Rychlost zavírání ventilu je nyní mezi variantou č.1 a variantou č.2. Tímto způsobem je dosaženo **brzdného momentu 203 Nm a výkonu 57 kW**.

8.3. Výběr optimální varianty

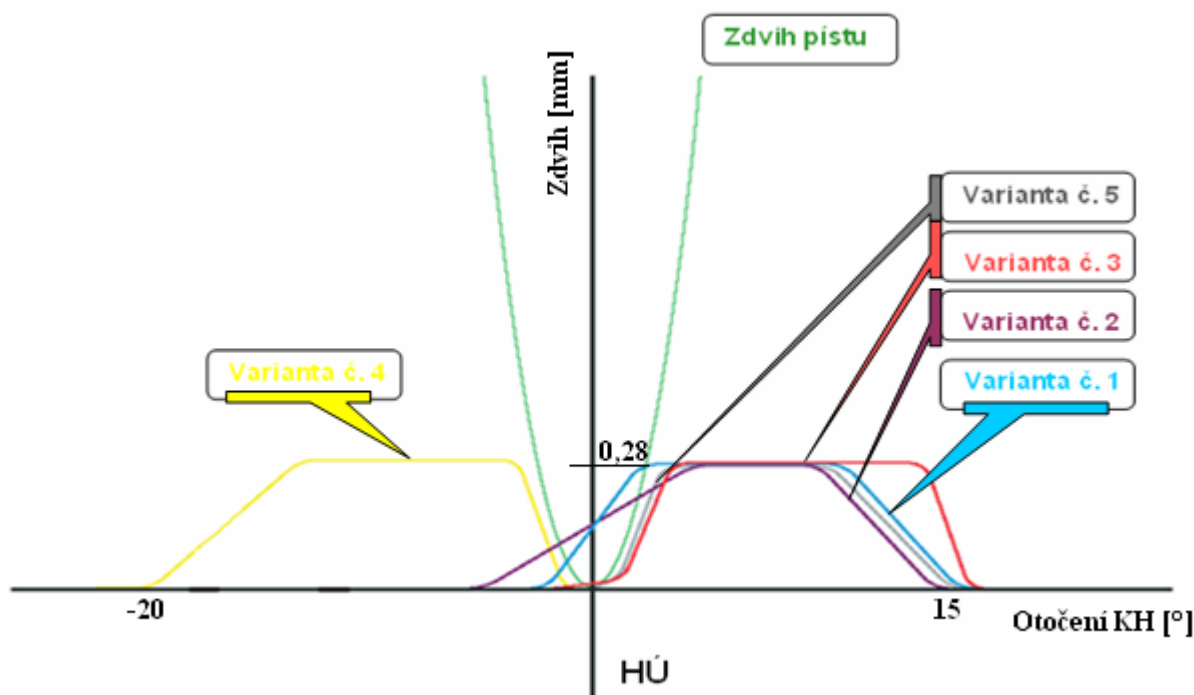
Z pěti navržených variant se pokusíme zvolit tu nejvhodnější. Důvodem, proč vybíráme pouze z těchto pěti je, že tyto varianty mají v sobě zaneseny nejčastěji používané umístění „předzdvihu“ a to tak, jak je umisťují přední výrobci nákladních automobilů. Je zde varianta s pozvolným otevřením ventilu, varianta s rychlým otevřením, pozvolné i rychlé uzavření na konci zdvihu výfukové vačky, otevření před HÚ v HÚ i za horní úvratí. Zdvih je volen pokaždé maximální z důvodu rychlého vyprázdnění válce. V tomto případě byly za srovnávací parametry zvoleny brzdný výkon a moment. V následujícím grafu č.14. jsou společně zobrazeny zdvihy sacích a výfukových ventilů z předchozích pěti variant.



Graf 14. – Zdvih ventilů se zdvihem pístů

Tento graf nám poslouží ke správnému výběru z již zmiňovaných pěti variant. Je doplněn ještě o zdvih pístu, který přesně ukáže, zda zvolená varianta konstrukčně vyhoví.

Z grafu č.14. je zobrazen detail a vyneseno do grafu.č.15. Jedná se o detail v oblasti HÚ, kde dochází k otevírání výfukového ventilu. V této nebezpečné oblasti dochází k tomu, že píst jde směrem k HÚ a do tohoto režimu se začíná otevírat, případně zavírat, výfukový ventil.



Graf 15. – Detail zdvihu výfukových ventilů

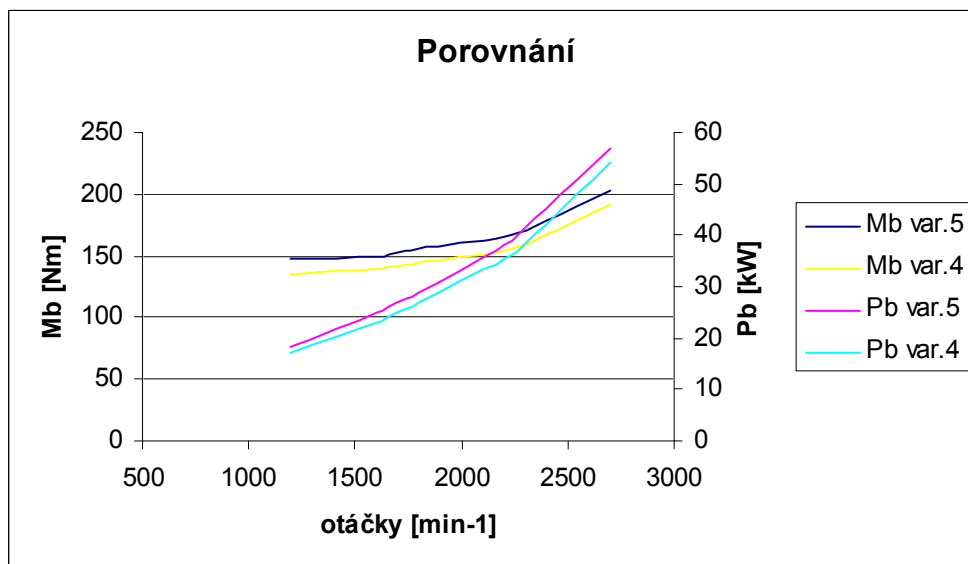
Jak lze na detailu vidět, z pěti variant, které byly navrženy, jsou dvě konstrukčně nereálné. Jedná se o **variantu č.1** a **variantu č.2** a to i přesto, že mají nejvyšší dosažené brzdné výkony a momenty. Pokud se důkladněji zaměříme na graf č.18., tak křivky zdvihu výfukové vačky protínají křivku zdvihu pístu a to znamená, že v těchto místech by mohlo dojít k „potkání“ pístu s výfukovým ventilem.

Varianta č.3 křivku zdvihu pístu neprotíná, ale v místě HÚ (průsečík os zdvihu a natočení klikového hřídele) dochází k velkému přiblížení těchto dvou křivek. V případě 100% přesnosti bychom tuto variantu mohli použít, protože zdvihová křivka výfukového ventilu kopíruje zdvihovou křivku pístu. Vyrobit ale takto přesné součásti je velice složité. Hodnoty brzdného momentu a výkonu nejsou v této variantě extrémně vysoké. Brzdný výkon je 54,5 kW, brzdný moment 192 Nm, což jsou hodnoty, které nepřekročí předešlé dvě varianty.

8.4. Optimální varianta

Zbývá tedy **varianta č. 4 a 5**. Obě dvě varianty jsou si „zrcadlově“ hodně podobné. V konstrukční části není problém, protože zdvihové křivky výfukových ventilů kopírují v bezpečné vzdálenosti zdvihovou křivku pístu.

Varianta č. 4 začíná před HÚ. Výfuková vačka pozvolně nabíhá na zdvih 0,28 mm a po 20° otočení klikového hřídele (z programu GT – Power) začíná pozvolně klesat až do HÚ, kde končí s nulovým zdvihem. Klesání je v konstantní vzdálenosti od zdvihové křivky pístu. U **varianty č. 5** je situace obdobná, zdvih výfukové vačky je také v konstantní vzdálenosti od zdvihu křivky pístu, maximální zdvih je 0,28 mm. Zdvih je proveden v rozmezí 15° natočení KH (z programu GT – Power). Porovnáním brzdných výkonů a momentů u těchto dvou variant dostaneme optimálního řešení, které vidíme na grafu č.16.



Graf 16. – Porovnání brzdných momentů a výkonů

Z porovnání vidíme, že varianta č. 5 je výhodnější pro větší brzdný moment i výkon.

Proto volíme variantu č. 5

Výhodou je, že brzda začíná působit již od nízkých otáček motoru a tím významně přispívá k šetření ostatních brzd.

otáčky motoru [min-1]	1200	1600	1800	2200	2400	2700
brzdný moment Mb[Nm]	148	150	155.5	166	179	203
brzdný výkon Pb[kW]	18.5	25	29	38	45	57

Tabulka 6.

Pro vozidla kategorie N₂ s celkovou hmotností 12 t je rozsah brzdného výkonu a momentu postačující. V případě extrémních provozních podmínek mohou být tyto vozy vybaveny ještě retardérem.

Proto je potřeba při volbě takového vozidla vzít v potaz, v jakých podmínkách budeme s daným vozidlem jezdit, jaký náklad budeme přepravovat, jestli bude připřahán přívěs, atd. Vždy je dobré snažit se vytvořit nějaký kompromis mezi těmito stranami. V případě volby brzdných parametrů vozidla to může být právě dekompresní brzda.

8.5. Další možnosti zvýšení výkonu

Další možnost jak využít dekompresní brzdu a ubrzdít soupravu s celkovou hmotností až 18 t se skrývá v konstrukci brzdy. V dekompresní brzdě je velká potenciální energie, pouze je potřeba ji zužít. Hlavní nevýhodou brzdy je, že „předzdvih“ v HÚ je omezen maximální ventilovou vůlí. Pokud by se podařilo zkonstruovat tento „předzdvih“ bez závislosti na maximální ventilové vůli, dostali bychom z brzdy takové brzdné výkony, že bychom „nepotřebovali“ kolové brzdy.

Základ spočívá v nezávislém zdvihu výfukové vačky na rozvodovém mechanismu. Princip by mohl být následující:

Varianta se zvětšeným výkonem se liší od základní o umístění speciálního ventilku v hlavě motoru. Na hlavě motoru se tedy nachází vahadlová hřídel s vahadly, které ovládají sací a výfukové ventily. Výfuková vahadla nejsou nijak změněna. Vedle této vahadlové hřídele je umístěna „výfuková vačková“ hřídel (připomíná systém rozvodu OHC), která ovládá vahadla s hydraulickým elementem. Tento hydraulický pístek má ale tu výhodu, že poskytuje větší zdvih, a to až do hodnoty 5mm. Maximální výšku zdvihu ovlivní množství přivedeného oleje. Množství oleje se reguluje přes redukční tlakový ventil. Je-li brzda vypnutá, nálitky na výfukové vačce nejsou vahadly zaznamenávány, teprve až po přivedení tlakového oleje přes redukční ventil se vymezí vůle mezi vahadlem a vačkovou hřídelí a vahadlo se dostává do pohybu. V pravidelném cyklu se pak otevírá speciální ventilek umístěný v hlavě motoru. Tento ventilek ovládá pouze vahadlo s hydraulickým elementem po vymezení vůle a dostane se v činnost jen po zapnutí dekompresní brzdy. Přídavný ventilek vypadá stejně jako klasický sací nebo výfukový ventil. Přídavná výfuková vačka je ovládaná

od rozvodových kol. Proto by se u tohoto typu motoru vyplatilo v případě použití přídavného ventilku přejít na rozvod typu OHC.

Se změnou rozvodu u motoru D432 není problém, protože stejný blok i hlavu motoru používá Cummins, který má právě rozvod typu OHC. Konstrukční nebezpečí hrozí spíše v prostoru hlavy motoru. Jde především o umístění dvou vačkových hřídelů. Prostorová výzva je i pro umístění pěti ventilů na válec. Umístit místo výfukového vačkového hřídele nějaký jiný hydraulický prvek, který bude ovládat přídavný ventil při zapnutí brzdy a bude mít dostatečný zdvih je také možností. V každém případě tato výkonnostně zvýšená varianta vyžaduje dokonale propracovaný hydraulický plán, jak pro ovládání brzdy tak pro mazání motoru.

Závěr

Tato bakalařská práce se zabývá brzděním užitkového automobilu kategorie N2. Byla zaměřena na dekompresní brzdou a její způsob ovládání. Vytvořením modelu motoru v programu GT – Power se dosáhlo možnosti tento motor dále upravovat. Zde jsme se zabývali motorem D432.

Na tento motor byla konstruována dekompresní brzda. Úkolem bylo najít a zkonstruovat neoptimálnější možné řešení a to použít. Při výběru možných variant se vycházelo z konstrukcí největších světových výrobců motorů. Na základě jejich podkladů byly zvoleny možné varianty ovládání brzdy.

V první fázi modelování brzdy bylo nutné dodržet určité zásady, které používají přední výrobci vozidel. Jedna z nejdůležitějších zásad je, že dekompresní brzda pracuje na systému částečného odpuštění stlačeného vzduchu v blízkosti HÚ. Výpočty z programu GT – Power se podařilo zjistit, kde bude nejlepší výfukový ventil přiotevřit. Přiotevření proběhne těsně za HÚ. Maximální předzdvih výfukového ventilu byl dán konstrukcí motoru, v tomto případě byla ventilová vůle 0,3 mm až 0,35 mm. S ohledem na provozní bezpečnost byl zvolen maximální zdvih 0.28mm. Výsledkem práce jsou výstupy z programu GT – Power. Především jde o graf zdvihové funkce sacího a výfukového ventilu s „předzdvihem“ pro částečné odpuštění tlakového vzduchu, brzdné momentové a výkonové charakteristiky motoru.

K celkovému výběru nejvhodnější brzdy sloužily výše zmiňované výstupy, které se navzájem porovnali. Při výběru optimální varianty sehrála velkou roli také zdvihová křivka pístu. Ta zajišťovala správnost konstrukčního řešení.

Celkový přínos této práce (zvolené variantě brzdy) spočívá v tom, že po provedení konstrukčních úprav (vahadla ventilů, hlava motoru, atd.) můžeme tento motor osadit ještě navíc dekompresní brzdou. Motor D432 má jen motorovou brzdou (klapka ve výfuku), která za určitých okolností nemusí zaručovat požadované brzdění. Spojením obou brzd dostaneme zvýšené brzdné hodnoty a zároveň šetříme provozní brzdy. Kombinace těchto dvou brzd zaručuje brzdění jízdní soupravy s přívěsem s celkovou hmotností až 18 tun. A to je pro dnešní autodopravce jedno z hledisek při výběru vozů kategorie N₂.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MACEK,J. – SUK,B.: Spalovací motory I., Nakladatelství ČVUT, 2003, Praha. ISBN 80-01- 02085-1
- [2] MACEK,J. – KLIMENT, V.: Spalovací turbíny, turbodmychadla a ventilátory, Nakladatelství ČVUT, 2006, Praha. ISBN 80-01-03529-8
- [3] VLK,F. . Podvozky motorových vozidel / 2. vydalo Brno : František Vlk, 2003. 392 s. : ISBN 80-239-0026-9
- [4] SUK,B. - VRBA,A. Základy teorie,konstrukce a provozu pístových spalovacích motorů, vyd. 1976, číslo publikace 401 - 2359
- [5] Gamma Technologies, Inc.: GT-Power User's Manual – GT-SUITE™, Version 6.1., August 2004
- [6] MACHEK,F. .Spalovací motory, Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1954, 301 05 29-1726
- [7] KOŽOUŠEK, J.: Teorie spalovacích motorů, SNTL, 1971, Bratislava
- [8] LEINVEBER,J. – VÁVRA,P. Strojnické tabulky, vydala ALBRA, 2003, Praha. ISBN 80- 86490-74-2
- [9] magazín společnosti Volvo Truck Czech, s. r. o.,Globetrotter Czech, ročník 2002, číslo.III
- [10] Voith Turbo GmbH & Co. KG, Cr 230 tsch. 2.93 1000 Printed in Germany, 2003
- [11] REICHERT,L. – HOLÁT,F. – JUKL,L. Konstrukce a výpočet vozidlových spalovacích motorů, Vydavatelství ČVUT., 1973. číslo publikace 401 - 1521